L'essentiel de la Science

L'essentiel de la Science

www.lafontpresse.fr N°57 - 12e année

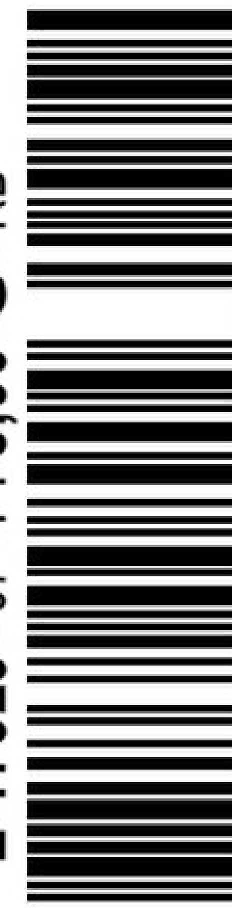
Antarctique
Des recherches prometteuses

Spécial
RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE
Les réponses des scientifiques

Les projets pour refroidir la Terre

OCÉANS ET FONDS MARINS
C'est l'avenir de l'humanité

CPPAP



N° 57 - Trimestriel - Juin - Juillet - Août 2022 - BEL : 9,20€ - ESP/PORT.CONT 9,9€ - D 10,1€ - DOM 9,9€ - N.CAL 1180XPF



VISIT…

LANZAROTE

Caliente.com

SCIENCE magazine

SCIENCE magazine

16e année • www.entreprendre.fr

OVNIS
La preuve des extraterrestres

Les troublantes découvertes du rapport du CNES



GÉNÉTIQUE
On décrypte l'ADN

METAVERSE
La révolution virtuelle

CPPAP

Lafont presse
c'est positif !

En kiosques et sur www.lafontpresse.fr

ABONNEZ-VOUS SCIENCE magazine

Et renvoyez ce bon dument rempli à *Lafont Presse*
53 rue du Chemin Vert - 92100 Boulogne-Billancourt

OUI, je m'abonne à Science Magazine et le recevrai chez moi
(10 numéros dont 2 numéros gratuits au prix de 54 € au lieu de 68€)

Nom : .... Prénom : ....
Adresse : ....
Code Postal : .... Ville : ....
Télephone : .... Date de naissance : ....
Courriel : ....

❐ **Je règle par Chèque bancaire ou postal à l'ordre de Lafont presse**
53, rue du Chemin Vert - CS 20056 - 92772 Boulogne-Billancourt Cedex

ou par carte Bancaire visa ❐
N° : ....
expire fin ....
cryptogramme (les trois derniers chiffres au dos de votre carte) ....

signature :

Tarifs France Métropolitaine, pour les Dom-Tom et l'étranger : + 2 € par revue livrée.

Conformément à la loi "informatique et libertés" du 6 janvier 1978 modifiée en 2004, vous bénéficiez d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent. Vous pouvez accéder aux informations vous concernant, les rectifier et vous opposer à la transmission éventuelle de vos coordonnées en cochant la case ci-contre ou en adressant un courrier libre à Lafont presse - 53, rue du Chemin vert - CS 20056 - 92772 Boulogne Billancourt Cedex.

Abonnez-vous sur www.lafontpresse.fr

L'essentiel de la Science

Edité par Entreprendre (Lafont presse)
53 rue du Chemin Vert - 92100 Boulogne-Billancourt
www.lafontpresse.fr - Tél. : 01 46 10 21 21

Directeur de la publication et de la rédaction :
Robert Lafont
courriel : robert.lafont@lafontpresse.fr

Secrétaire générale des rédactions :
Isabelle Jouanneau - Tél. : 01 46 10 21 21
isabelle.jouanneau@lafontpresse.fr

• RÉDACTION
Michel de Closets, Sacha Lorens (*sacha.Lorens@free.fr*), François Chevalet et les rédactions de *Lafont presse*.

• ADMINISTRATION
Directeur comptable :
Didier Delignou - *didier.delignou@lafontpresse.fr*
Comptables :
Mélanie Dubuget - Tél. : 01 46 10 21 28
melanie.dubuget@lafontpresse.fr
Alizée Dufraisse - Tél. : 01 46 10 21 03
alizee.dufraisse@lafontpresse.fr

• PUBLICITE & PARTENARIATS
Directeur :
Éric Roquebert - Tél. : 01 46 10 21 06
eric.roquebert@lafontpresse.fr

PEFC — Promouvoir la gestion durable de la forêt — www.pefc-france.org

• FABRICATION
Imprimerie :
Rotochampagne (52 - Chaumont)
Communication environnementale : Origine du papier : Suède - Taux de fibres recyclées : 0% - Ce magazine est imprimé sur du papier porteur de l'Ecolabel Européen sous le numéro : SE/011/04 - Eutrophisation : PTot 0.003 Kg/t.

• DIFFUSION PRESSE
Isabelle Jouanneau - Tél. : 01 46 10 21 21
isabelle.jouanneau@lafontpresse.fr
Distribution : MLP - Tondeur (Belgique)

FABRIQUÉ EN FRANCE

• ABONNEMENTS
Hanane Rahmani - *hanane.rahmani@lafontpresse.fr*

L'ESSENTIEL DE LA SCIENCE est édité par le Groupe Entreprendre - S.A au capital de 1 006 268.70€ - RCS NANTERRE 339 532 194 - SIRET : 339 532 194 000 34 - NAF : 5814Z SA - 53 rue du Chemin Vert 92100 Boulogne-Billancourt.
Tél. : 01.46.10.21.21 – Fax : 01.46.10.21.22

Toute reproduction, même partielle, des articles et iconographies publiés dans *L'ESSENTIEL DE LA SCIENCE* sans l'accord écrit de la société éditrice est interdite, conformément à la loi du 11 mars 1957 sur la propriété littéraire et artistique. La rédaction ne retourne pas les documents et n'est pas responsable de la perte ou de la détérioration des textes et photos qui lui ont été adressés pour appréciation.

N° de commission paritaire : 0923 K 89315
N°ISSN : 1961-3679 - Dépôt légal à parution

Avertissement : L'éditeur se réserve la possibilité de republier certaines enquêtes ou reportages des titres Lafont Presse

Les magazines à découvrir — Lafont presse

À lire sur www.lafontpresse.fr

Economie : Entreprendre, Création d'entreprise magazine, Manager & réussir, Placements, C'est votre argent !, Spécial Argent, Nouvel agriculteur. **People :** Journal de France, Intimité, Intimité Dimanche, Spécial Dernière, Secrets de stars, Spécial People, Paris confidences, Célébrité magazine, Confidences magazine, Dossier enquêtes, Enquêtes magazine, Crimes magazine, Histoires vérité, Souvenirs Souvenirs, Numéro Spécial, Collection, Album, Johnny magazine, Johnny actualité, Reines & Rois, Royauté, Gotha magazine. **Auto :** L'essentiel de l'Auto, Automobile revue, Auto magazine, Pratique Auto, Automobile verte, Auto magazine occasions, Auto Souvenir, Tracteurs magazine, Le magazine de l'aviation, L'essentiel du Drone. **Sport :** Le Foot, Le Foot Lyon magazine, Le Foot magazine, Rugby magazine, France Basket, Handball magazine, Tennis revue, Le quotidien du sport, Le quotidien du sport album, Le Sport, Le Sport Vélo, Cyclisme magazine, Auto sport magazine, Féminin Footing. **Féminin :** Féminin Psycho, Santé revue, Santé Info, Féminin Santé, Pratique Santé magazine, Dossier santé, Santé revue Seniors, Féminin senior santé, 365 jours femme Senior, Santé guide, Dossier nutrition, Info Femme, Le magazine des femmes, Votre beauté. **Maison-Déco :** Maison Décoration, Maison déco jardin, Maison campagne & jardin, L'essentiel de la Déco, Spécial Déco, Architecture & Décoration, Faire soi-même, Jardiner, Info Jardin, Potager pratique, Potager bio de saison. **Centres d'intérêts :** Spécial Chats, Spécial Chiens, Féminin pratique, Questions & astuces, Les dossiers pratiques, Stop Arnaques, Pêche magazine, Chasse magazine, France Patrimoine, Spécial France, Spécial Reportages, Spécial Seniors, Féminin Senior, Senior loisirs. **Cuisine :** Cuisine revue, Cuisine magazine. **Information-Culture :** Science magazine, L'essentiel de la Science, La revue de la Science, Science du monde, OVNIS magazine, Question de Philo, Les carnets de la philosophie, L'événement magazine, Le journal, Globe, Biographie magazine, Grands Hommes, Spécial Histoire, Histoire française, Histoire de Versailles, Napoléon magazine, De Gaulle magazine, Le magazine des arts.

DEVENEZ ACTIONNAIRE

Entreprendre (Lafont presse), groupe indépendant éditeur de 60 magazines publiés en kiosques, est côté sur Euronext Paris (code ALENR). Participez à son développement.

www.lafontpresse.fr

LE QUOTIDIEN DU SPORT — Lafont presse TV — le quotidien des seniors

SOMMAIRE

Spécial RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE
Les réponses des scientifiques

L'UNESCO DÉVOILE SES NOUVELLES RÉSERVES DE BIOSPHÈRE 18
Premières nations et espèces rares en Amérique 19
Montagne Pelée et Pays des étangs 20
Taïga sibérienne et route de la soie 21
Du léopard des neiges au Dugong dugon 22
Le « royaume dans le ciel » 23
Maeulsup et gudeuljangnon 24

JUSQU'OÙ VONT MONTER LES OCÉANS ? 26
150 millions de réfugiés climatiques dans 30 ans 28
Lorsque l'océan était 130 mètres plus bas... 30
La mer monte, mais certains continents aussi 31
Des preuves concrètes 32
Les traces de la dernière glaciation 33
Qu'a fait l'homme lors des changements climatiques précédents ? 36
Homo sapiens aurait quitté l'Afrique à cause du climat 37
Pouvait-on aller à pied en Amérique et en Australie ? 38
Le réchauffement climatique, principal responsable 39
Les côtes vont-elles devenir inhabitables ? 41
des solutions pour se protéger 42

L'APPEL DE CHRISTIAN BUCHET 44
Osons la mer, une révolution maritime pour faire de la France la première puissance économique mondiale 44

LA GRANDE AVENTURE DE L'HOMME SOUS L'OCÉAN 48
Plongée dans les abysses 50
Se glisser dans la peau d'un chercheur océanographe 50
Une collection unique au monde d'engins sous-marins 51
Suivre l'aventure des conquérants des profondeurs 51
Normandie... l'océan commence ici 52
L'aquarium le plus profond d'Europe 52
S'offrir des émotions fortes en « marchant sous la mer » ! 53
Livres découvertes 54

BRÈVES 56
Pourquoi l'étoile supergéante Bételgeuse brille-t-elle beaucoup moins ? 56
Gagner le combat contre la pollution plast 57
Les rayures du poisson clown s'adaptent à son environnement 57
Des générateurs thermoélectriques surpuissants 58
L'odeur de la mère peut donner au bébé l'illusion de son visage 59
Les cellules mourantes protègent leurs voisines 60
De l'hydrogène vert produit à partir de soleil et d'eau 61
Une exoplanète « photobombe » ! 62
Bora Bora et tupai 63

L'ANTARCTIQUE, UN CONTINENT DÉDIÉ À LA SCIENCE 64
La France, une puissance polaire 66
L'Antarctique restera-t-il préservé ? 66
Remonter l'histoire de la Terre sur 800 000 ans ! 68
Comprendre le langage des phoques 69
Des animaux témoins ou espions pour mieux connaître l'océan 70
Le seul endroit sur la planète pour étudier « l'extraterrestre » 72
L'Antarctique choisi pour l'exposition universelle de Dubaï 73

OCÉAN : UN MONDE IN CROYABLE SE DÉVOILE 74
Une exploration à hauts risques 76
Une vie vraiment pas comme les autres 77
Le peuple de l'extrême 78
Dans l'Antarctique, un univers de géants 79
ils ont des pouvoirs extraordinaires 80
Calmar géant, coelacanthe... des créatures de légende 81
Un fossile vivant ? 82

Le prochain *L'essentiel de la Science* paraîtra le 29 août 2022



***Science magazine* chez votre marchand de journaux ou sur lafontpresse.fr**

ABONNEZ-VOUS — L'essentiel de la Science

Et renvoyez ce bon dument rempli à Lafont Presse
53 rue du Chemin Vert - 92100 Boulogne-Billancourt

OUI, je m'abonne à *L'essentiel de la Science* (papier + numérique) et je recevrai chez moi 10 N° dont 2 N° gratuits au prix de 71€ au lieu de 89€

Nom : .... Prénom : ....
Adresse : ....
Code Postal : ....
Ville : ....
Téléphone : ....
Date de naissance : ....
Courriel : ....

❑ Je règle par Chèque bancaire ou postal à l'ordre de *Lafont presse*
53 rue du Chemin Vert - CS 20056 - 92772 Boulogne-Billancourt Cedex

❑ ou par carte bancaire : visa
N° : ....
expire fin ....
cryptogramme (les trois derniers chiffres au dos de votre carte) ......
Tarif DOM TOM et étranger : + 2 € par revue servie

Signature :

Conformément à la loi "informatique et libertés" du 6 janvier 1978 modifiée en 2004, vous bénéficiez d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent. Vous pouvez accéder aux informations vous concernant, les rectifier et vous opposer à la transmission éventuelle de vos coordonnées en cochant la case ci-contre ❑ ou en adressant un courrier libre à Lafont presse – 53, rue du Chemin vert, 92100 Boulogne Billancourt.

Détecter le type de douleur par une prise de sang



De nombreuses personnes souffrent de douleurs chroniques, lesquelles peuvent durer des mois voire des années. Pour les traiter au mieux, il faut les catégoriser. Mais il est très compliqué pour les patients de définir leur douleur, son degré d'intensité ou même sa localisation à travers des questionnaires.

On classe les douleurs chroniques en deux catégories principales : les douleurs nociceptives - définies par l'activation des récepteurs au bout des fibres nerveuses (arthrose, brûlures, infections...) -, et les douleurs neuropathiques qui découlent d'une atteinte des structures nerveuses (en cas de zona par exemple). Pour pouvoir classifier de quelle douleur souffre le patient, celui-ci doit remplir des questionnaires et quantifier l'intensité de sa douleur grâce à des échelles évaluatives. Mais cela comporte une grande part de subjectivité et prend du temps.

Pour contourner ces difficultés, des scientifiques de l'Université de Genève (UNIGE) se sont associés au service de recherche de la Clinique romande de réadaptation (CRR) de Sion, où sont traitées beaucoup de personnes souffrant de maladies chroniques, afin d'effectuer une analyse épigénomique complète de patients. L'objectif : trouver les signatures épigénétiques propres à chaque catégorie de douleur. Une simple prise de sang permettrait ainsi de définir de quelle douleur souffre la personne !

L'équipe genevoise a effectué une analyse des génomes entiers de 57 patients : 20 ne ressentant aucune douleur, 18 souffrant de douleurs nociceptives et 19 de douleurs neuropathiques. Et contre toute-attente, non seulement les chercheurs ont identifié des signatures épigénétiques très frappantes signalant la douleur, mais de plus sans aucun chevauchement entre les douleurs nociceptives et les douleurs neuropathiques. Ce qui est étonnant. On aurait pu penser en effet que la difficulté à définir sa douleur provenait d'une similarité dans la signature épigénétique...

Mais cela n'est pas le cas. Les biomarqueurs propres aux douleurs nociceptives sont les gènes du système opioïde (impliqués dans l'émotion, la récompense et la douleur) et les gènes de l'inflammation (propres aux phénomènes irritatifs). Les biomarqueurs des douleurs neuropathiques sont, eux, liés uniquement aux gènes du système GABA, c'est-à-dire les neurotransmetteurs du système nerveux central.

Une simple prise de sang permettra donc d'effectuer une recherche sur ces biomarqueurs pour définir de quel type de douleur souffre une personne. Comme le soulignent les chercheurs, le traitement ne sera ainsi plus consacré aux symptômes, mais bien à la racine du mal.

Et pourquoi ne pas aller plus loin ? L'épigénétique est en effet caractérisée par le fait que l'expression d'un gène se trouve modifiée durablement. Après avoir appliqué le bon traitement, les scientifiques imaginent pouvoir suivre la réversion de la douleur en observant si les biomarqueurs reviennent à la normale.

Prédire les maladies psychotiques

Parmi les enfants souffrant d'une microdélétion du chromosome 22, un tiers développera à l'adolescence une maladie psychotique, comme par exemple la schizophrénie. Mais comment savoir lesquels seront concernés ?

Une personne sur 4000 souffre d'une microdélétion du chromosome 22. Connaître lesquelles seront le plus à risque de développer un trouble psychique se révèle d'importance pour une prise en charge précoce. Mais comment savoir ? Car de nombreuses variables - autres que neurobiologiques - contribuent au développement des maladies psychotiques. *« Pour l'instant, les analyses se penchent sur les mécanismes neurobiologiques engagés dans les troubles psychiques, ainsi que sur la présence de certains symptômes que l'on assimile à une*

Une danse galactique dangereuse



© ESA/Hubble & NASA, J. Dalcanton ; Acknowledgment : J. Schmidt

Ces deux galaxies, NGC 5953 et NGC 5954, sont tellement imbriquées qu'elles ont un nom collectif : Arp 91. En réalité, toutes deux sont des galaxies spirales, mais leur forme semble très différente du fait de leur orientation par rapport à notre planète. Elles sont ici photographiées par le télescope spatial Hubble de la NASA et de l'ESA et réalisent leur délicate danse galactique à plus de 100 millions d'années-lumière de la Terre.

Comme le souligne l'Agence spatiale européenne, c'est l'immense attraction gravitationnelle des deux galaxies qui est responsable de cet exemple particulièrement frappant d'interaction. La plupart des astronomes pense que les collisions entre deux galaxies spirales conduit à la formation d'un autre type de galaxie : les galaxies elliptiques. Ces collisions extrêmement énergétiques et massives se produisent sur des échelles de temps phénoménales : des centaines de millions d'années. Aussi, tout au cours de notre vie d'humain, nous ne verrons pas Arp 91 sous une autre forme ! (Crédit ESA)

maladie psychique, sans pour autant savoir lesquels sont les plus prégnants », souligne Corrado Sandini, chercheur au Département de psychiatrie de la Faculté de médecine de l'UNIGE, à la Fondation Pôle Autisme.

Ne pas pouvoir prendre en considération le degré d'importance de chaque symptôme peut poser problème dans les prédictions évolutives de la maladie, et ensuite dans la mise en place du traitement le plus adéquat pour chacun. *« C'est pourquoi nous avons pensé à l'utilisation de la méthode d'analyse en réseau »*, explique le chercheur. Cette méthodologie, qui est utilisée à l'heure actuelle sur des adultes, permet de combiner des variables de mondes complétement différents dans un même espace d'analyse, et ce tout en les considérant de manière individuelle. *« Le développement de maladies psychotiques dépendant de multiples variables autres que purement neurobiologiques, cet algorithme pourrait permettre la mise en exergue des symptômes les plus importants pour donner l'alerte sur les risques potentiels de l'enfant à devenir, par exemple, schizophrène »*, note Stéphan Eliez, professeur au même Département et à la Fondation Pôle Autisme.



L'équipe genevoise s'est associée à des chercheurs de l'EPFL afin de développer cette méthodologie et la tester sur des enfants et adolescents souffrant d'une microdélétion du chromosome 22 et suivis pour certains depuis plus de 20 ans. L'analyse en réseau est personnalisée pour chacun de manière longitudinale, pour obtenir des statistiques de qualité sur une variable tout au long de la trajectoire de développement de l'enfant. L'objectif : trouver les variables de l'enfance qui vont pouvoir annoncer le développement de maladies psychotiques, et ensuite tenter de réguler le symptôme afin de réduire le risque ultérieur de développer une telle maladie.

40 variables ont été prises en compte pour 70 enfants observés tous les 3 ans de l'enfance à l'âge adulte. Parmi ces variables : les hallucinations, l'humeur générale, le sentiment de culpabilité ou encore la gestion du stress quotidien. À cela se sont ajoutés des questionnaires remplis par les parents. Puis des graphiques ont déterminé les variables les plus importantes qui permettent de prédire le développement de problèmes psychiques 3 ans plus tard. *« Nous avons ainsi constaté qu'un enfant de 10 ans anxieux, dont l'anxiété se transforme à l'adolescence en une incapacité à gérer le stress, a de fortes chances de développer une maladie psychique. L'évolution de l'anxiété est par conséquent un signal d'alerte prégnant »*, poursuivent les chercheurs. La tristesse, qui se transforme avec le temps en sentiment de culpabilité, est également un symptôme de première importance.

Les chercheurs ont appliqué leur algorithme à d'autres enfants vulnérables aux maladies psychotiques suivies depuis de nombreuses années pour confirmer leurs résultats. Ils ont pu confirmer ainsi que l'outil informatique fonctionne. Il s'agit maintenant de l'utiliser comme outil de prédiction, mais aussi de l'affiner en y intégrant d'autres variables, comme par exemple le poids. Cette prédiction a aussi comme but d'éviter la maladie, et l'intérêt est surtout le caractère totalement personnalisé qui étudie la trajectoire développementale propre à chaque enfant.

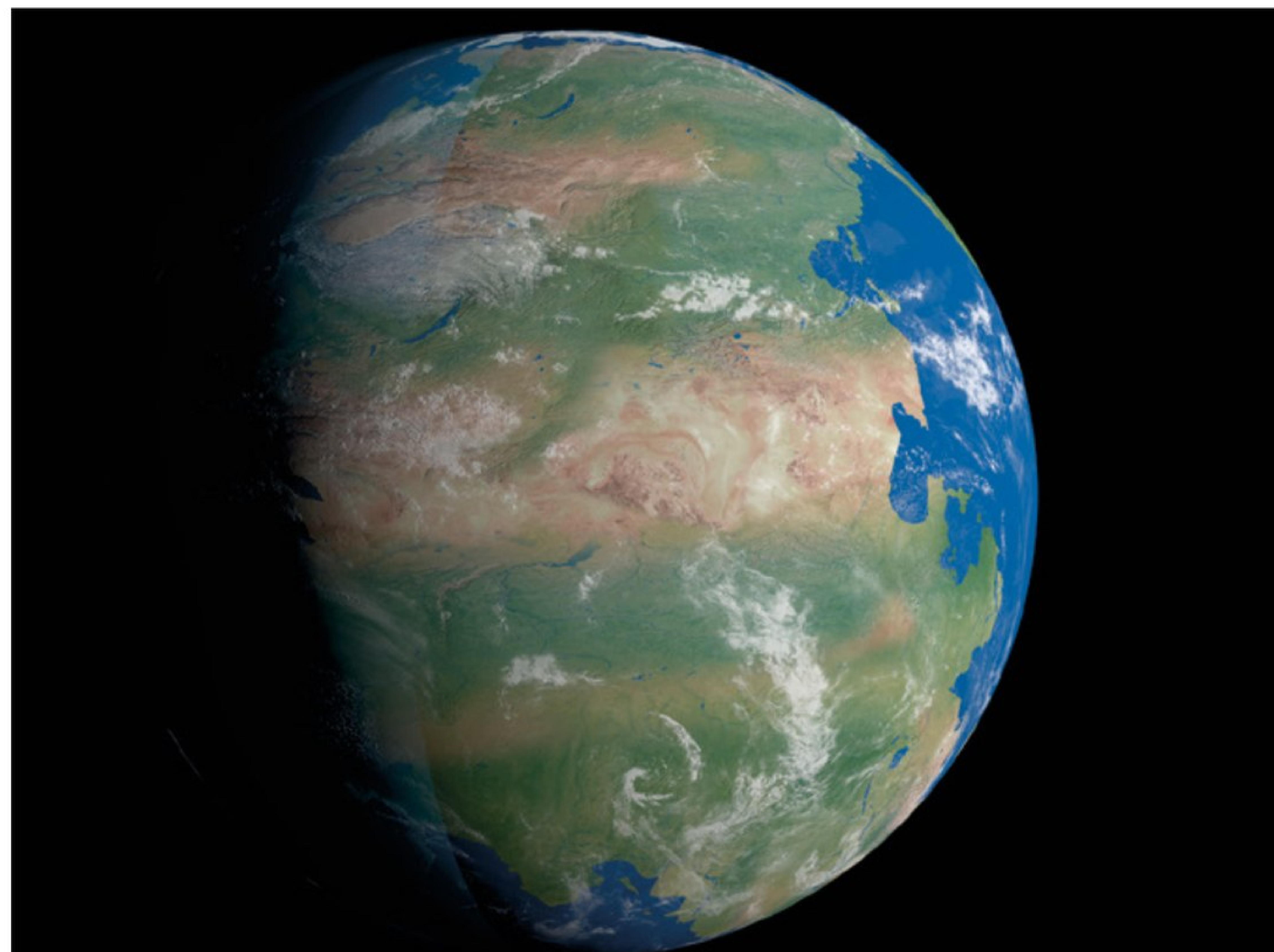
Du nouveau sur la formation des continents

Caractéristique spécifique à la Terre, les continents recèlent encore bien des mystères. Leur histoire géologique vient d'être revue par une chercheuse du CNRS.

Ils sont souvent cités au nombre de 5, parfois de 6, alors qu'ils sont pourtant 7 ! Les continents, constituant la partie émergée de la croûte continentale terrestre, ont des reliefs variés ainsi que des roches de composition et d'âges différents. Cette hétérogénéité rend leur étude particulièrement complexe.

Chercheuse du CNRS au Laboratoire magmas et volcans (CNRS/IRD/Université Clermont

Auvergne), Marion Garçon a étudié une compilation de données regroupant des informations sur des roches sédimentaires âgées de 3,7 milliards d'années à nos jours. En se basant sur les mesures chimiques acquises depuis les années 1980, la scientifique a apporté un regard nouveau sur l'enregistrement des roches sédimentaires. Elle a pu tirer deux conclusions qui remettent en cause certains modèles et théories sur la formation des continents.



La première conclusion est que les continents ont toujours été riches en silice. En effet, la silice constitue en moyenne 67% de la masse des continents et elle n'est jamais descendue en dessous des 60% au cours de l'histoire de notre planète. Cette première découverte vient contredire les modèles établissant que les continents étaient plutôt pauvres en silice et riches en fer et magnésium au début de l'histoire de la Terre.

La seconde découverte établit que la formation des continents n'est pas un processus continu. Il y a eu 6 grands événements de croissance de la croûte continentale tous les 500-700 millions d'années au cours des derniers 3,7 milliards d'années. Ces événements ont permis aux continents de grossir pour atteindre leur taille actuelle.
Ils pourraient être liés aux cycles d'assemblage et de démantèlement des supercontinents tels que la Pangée, le plus célèbre d'entre eux. En effet, à travers les âges, les supercontinents ont connu de tels cycles avec une récurrence proche de celles des 6 événements de croissance continentale découverts par cette étude. Si aucune corrélation ne peut être faite entre ces événements, cela permet d'orienter toutefois de futures études.

Comment l'océan « respire » le mercure



Le mercure est devenu un véritable fléau. Présent aujourd'hui dans tous les océans du globe, où il s'accumule dans la chaîne alimentaire, ne va-t-il pas un jour nous empêcher de consommer tous les produits de la mer ?

Mais d'où vient ce mercure ? De la combustion du charbon et des activités minières. Il pollue l'air et retombe dans l'océan. Cependant, on croyait jusqu'ici que ce gaz polluant était apporté principalement par les eaux de pluie. Une nouvelle étude* montre en fait que la voie d'entrée principale du mercure se fait par absorption gazeuse : l'océan le « respire » comme il respire du CO2.

Ces travaux suggèrent également que les océans reçoivent moins de mercure atmosphérique qu'estimé précédemment. Mais cela ne veut pas dire qu'il y a actuellement une diminution de la contamination des poissons. Cependant, dans le contexte de la Convention de Minamata sur le mercure entrée en vigueur en 2017, des politiques de réduction des émissions de mercure sont élaborées : cela devrait donc diminuer à l'avenir le mercure dans les océans et dans nos assiettes.

**Ces travaux ont été menés par une équipe internationale impliquant des scientifiques du laboratoire Géosciences environnement Toulouse (CNRS/Université Toulouse III - Paul Sabatier/Cnes/IRD), de l'Institut méditerranéen d'océanologie (CNRS/Aix-Marseille Université/IRD/Université de Toulon) et du laboratoire Environmental Geosciences de l'université de Bâle (Suisse).*

Pourquoi des astéroïdes sans poussières ?



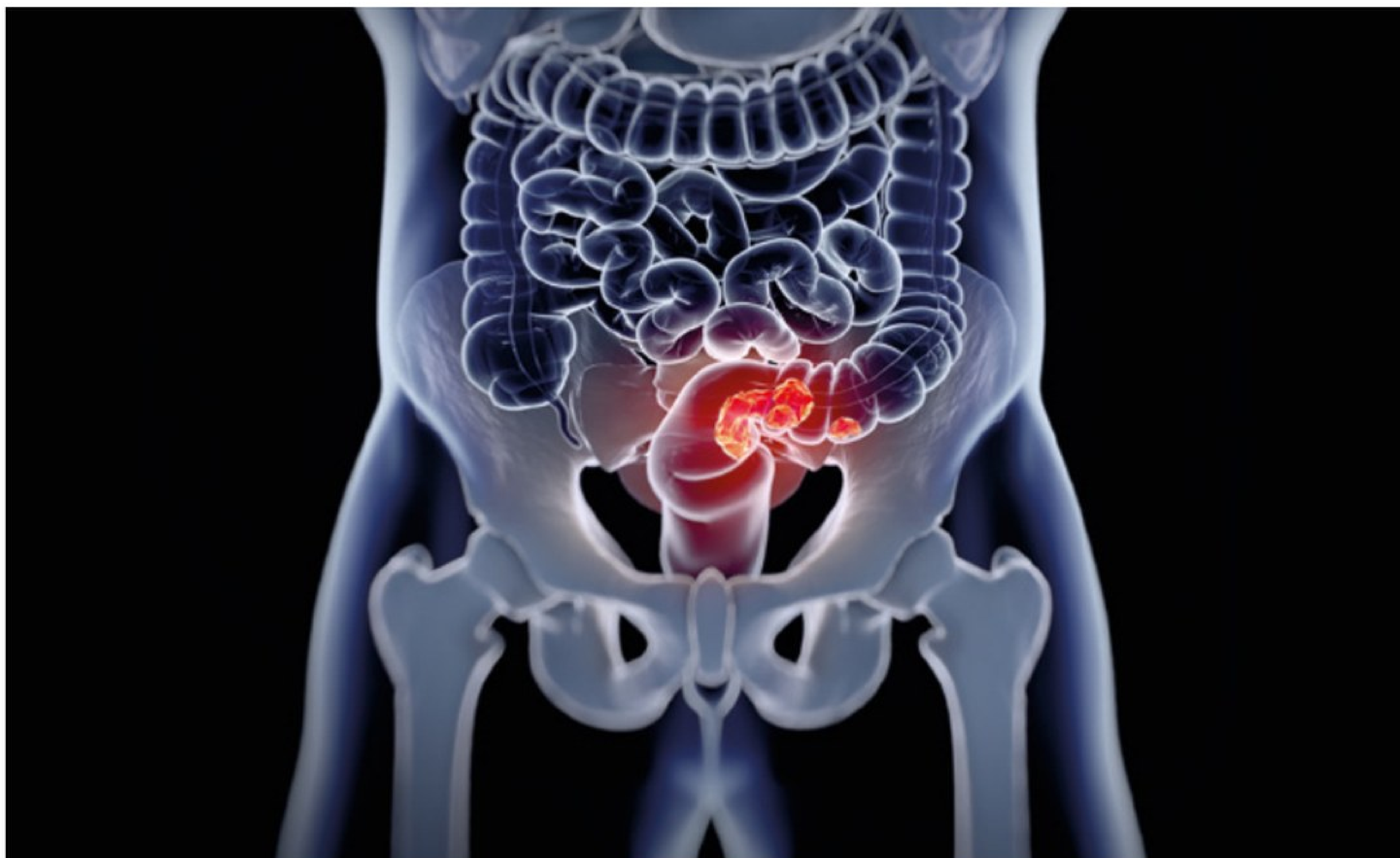
Les scientifiques de la NASA avaient été surpris en octobre 2020 par ce qu'a découvert la sonde OSIRIS-REx à l'approche de l'astéroïde Bennu, sur lequel elle allait récolter des échantillons. La surface de ce corps céleste n'était pas recouverte, comme ils l'attendaient, d'une couche de poussière fine appelée régolithe. Quelle peut en être la raison ?

Sur la Lune et certains astéroïdes, on retrouve toujours cette poussière. Elle vient du fait que des chocs thermiques et l'impact des météorites fragmentent les roches superficielles. Mais ce n'est pas le cas sur Bennu : sa surface est composée essentiellement de rochers nus d'assez grande taille.

L'énigme vient d'être résolue par une équipe internationale menée par des chercheurs de l'Université d'Arizona et du CNRS. L'absence de régolithe s'expliquerait par la porosité des roches. Lorsqu'elles reçoivent l'impact d'un bolide, elles se déforment sans éclater, comme le font les roches dures. La sonde japonaise Hayabusa-2 qui, à la surface de l'astéroïde Ryugu, n'a trouvé que très peu de régolithe, a confirmé ces résultats.

Rappelons que les astéroïdes sont considérés comme des archives des toutes premières étapes du Système solaire. Aussi ces travaux permettront-ils de mieux comprendre leur évolution mais aussi d'aider à la préparation des prochaines missions spatiales qui ramèneront des échantillons sur Terre.

Une nouvelle thérapie contre le cancer colorectal



Le cancer colorectal est la deuxième cause de mortalité liée au cancer dans le monde. L'une des principales causes de mortalité des patients est le développement de métastases hépatiques. Une stratégie immunothérapeutique récente, la thérapie par blocage des points de contrôle immunitaire (ICB), a depuis quelques années révolutionné le traitement du cancer. Mais elle n'est efficace que chez moins de 15% des malades.

Grâce à cette thérapie, plus de la moitié des cas de mélanome métastatique, autrefois incurable, peut maintenant guérir. Mais le cancer colorectal reste particulièrement réfractaire à ce traitement, et notamment

lorsque le cancer se propage au foie. Une équipe américano-suisse - de l'Université de Genève (UNIGE) et du Massachussetts General Hospital (MGH) - a voulu décrypter pourquoi les cancers colorectaux résistaient aux immunothérapies afin de proposer une nouvelle combinaison thérapeutique potentiellement efficace.

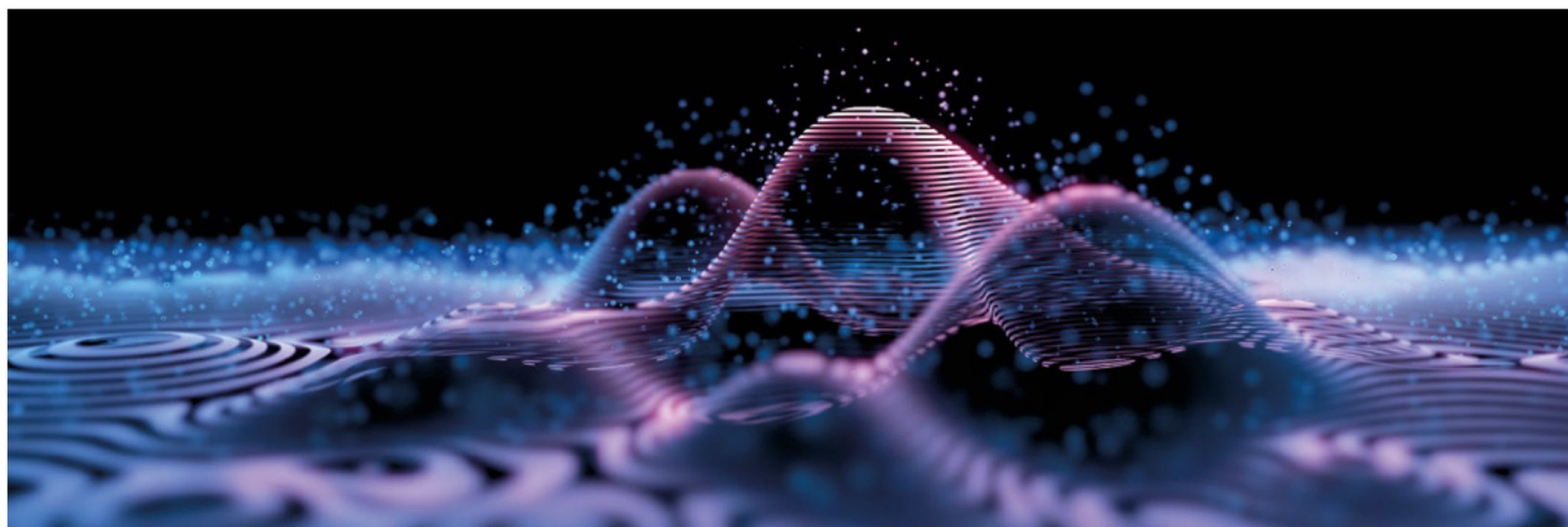
Les scientifiques ont étudié différentes lignées cellulaires de cancer colorectal chez un modèle animal pour voir comment il réagissait à la thérapie ICB. Lorsque les tumeurs étaient injectées sous la peau, elles répondaient bien à la thérapie ICB. Mais lorsque le cancer se développait dans le côlon avant de métastaser dans le foie, comme chez les êtres humains, les cellules cancéreuses présentaient une grande résistance à la thérapie ICB. Cela prouve donc comment l'environnement dans lequel les cellules cancéreuses évoluent peut influencer l'efficacité de l'immunothérapie.

Les tumeurs primaires colorectales peuvent en général être retirées chirurgicalement ; ce sont les métastases hépatiques qui en résultent qui constituent la principale cause de décès. Mais pourquoi ces métastases dans le foie résistent-elles à la thérapie ICB ? C'est la composition des cellules immunitaires présentes dans ces métastases qui a fourni l'explication. Dans les métastases hépatiques, on constate une absence de cellules dendritiques, des cellules du système immunitaire nécessaires à l'activation des lymphocytes T cytotoxiques. Or c'est justement sur ce mécanisme biologique que se base la thérapie ICB.

Si l'on renforçait la présence des cellules dendritiques dans les tumeurs, les immunothérapies pourraient donc gagner en efficacité. Les scientifiques ont administré au modèle animal un facteur de croissance (Flt3L) qui favorise la production de cellules dendritiques. Et ils ont pu constater une nette amélioration de l'efficacité des immunothérapies ICB.

Des évaluations cliniques devront maintenant être faites pour confirmer sur l'être humain ces premiers résultats très encourageants.

Voir de loin des détails inférieurs à la longueur d'onde



Grâce à des ondes "rebondissantes", un chercheur français est parvenu à mesurer des détails d'un objet bien plus petit que la longueur d'onde d'illumination. Et cela tout en restant à distance, de manière non-invasive.

La résolution d'un instrument optique est limitée par ce que l'on appelle le phénomène de diffraction de l'onde électromagnétique : ainsi, les détails plus petits que la longueur d'onde λ utilisée ne peuvent être observés. Certains instruments, notamment des microscopes, parviennent à s'affranchir de cette limite en mesurant les ondes évanescentes, qui n'existent que très près de l'objet observé. Mais cette méthode est par conséquent invasive.

Un chercheur de l'Institut d'électronique et des technologies du numérique (IETR, CNRS/Univ. Rennes 1/INSA Rennes/Univ.Nantes/CentraleSupélec), en collaboration avec ses collègues de l'université de Würzburg (Allemagne) et du laboratoire Kastler Brossel (LKB, CNRS/Sorbonne Université/ENS/Collège de France), a découvert un autre moyen de distinguer des détails inférieurs à la longueur d'onde, et ce en restant à distance de l'objet. La méthode exploite des ondes « rebondissantes », c'est-à-dire qu'elles se réfléchissent de multiples fois sur les parois internes d'une cage et sur l'objet qui y est placé. Ce dispositif donne des informations sur l'objet avec une résolution meilleure que la longueur d'onde. Et

un algorithme d'intelligence artificielle est capable de les extraire dans des résultats de mesure qui semblent aléatoires.

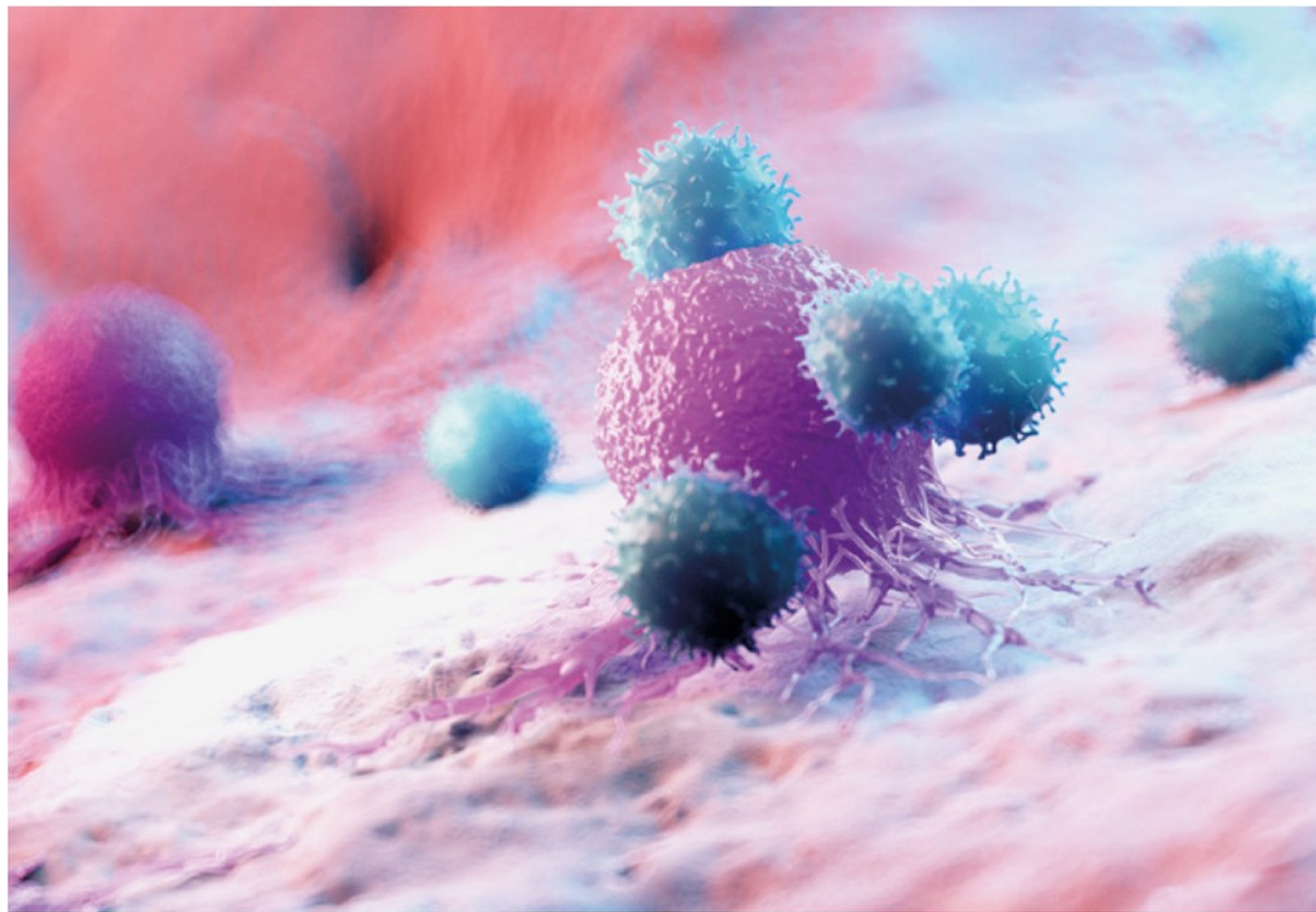
Restait à en faire la démonstration. Les chercheurs ont alors construit une cage métallique de 0,8m x 0,8m x 0,5m, à la géométrie irrégulière. À l'intérieur ils ont placés deux antennes qui émettent et captent une micro-onde de fréquence 2,463 GHz, et également l'objet dont il s'agit de mesurer la position avec la meilleure précision possible. Enfin, l'enceinte contient une métasurface programmable qui permet de faire varier la géométrie de la cage, et ainsi effectuer de multiples mesures avec une seule et même longueur d'onde. Pour interpréter les résultats, un réseau de neurones a été au préalable entraîné sur des exemples connus.

Les scientifiques ont pu montrer que plus les ondes rebondissent, plus elles rencontrent l'objet et plus le dispositif est sensible à des détails inférieurs à la longueur d'onde. Ils ont obtenu une résolution maximale de λ/76 (ici environ 0,15 cm), bien meilleure que la limite de diffraction qui se situe à λ/2.

Des applications peuvent être faites avec tout type d'ondes : de la localisation précise de nanoparticules dans une enceinte (ondes optiques), à celle de personnes dans une pièce (ondes acoustiques), jusqu'à des techniques biomédicales de pointe (comme l'imagerie photo-acoustique). L'équipe de l'IETR, tout en visant une résolution encore plus avancée, étudie son utilisation pour localiser précisément l'impact d'un doigt sur une surface, ce qui serait utile pour des applications du type interface homme-machine. (Source INSIS)

Comment les tumeurs modifient les interactions entre espèces

Chez les organismes multicellulaires, l'émergence et la prolifération de cellules tumorales sont des processus normaux et fréquents, et ce depuis l'apparition de ces organismes à la fin du Précambrien. Ils peuvent d'ailleurs entraîner des pathologies graves, comme des cancers invasifs. Ce phénomène chez la faune sauvage, jusqu'alors peu étudié par les scientifiques, suscite un engouement croissant. En effet, il est responsable de modifications du phénotype de leurs hôtes. Et cela les amène à interagir différemment avec les autres espèces de l'écosystème.



Il est à présent admis que les dynamiques tumorales, comme celles de toutes entités vivantes, sont gouvernées par des processus Darwiniens. D'ailleurs, même s'ils n'évoluent pas toujours vers des formes invasives/métastatiques, les processus tumoraux sont omniprésents chez les métazoaires. Ils pourraient influencer chez ces derniers des variables fondamentales en écologie : les traits d'histoire de vie, les aptitudes compétitrices, la vulnérabilité aux parasites et aux prédateurs, ou encore la capacité à disperser. De quelle façon ? Cela pourrait provenir des conséquences pathologiques des tumeurs, mais aussi des coûts liés au fonctionnement des mécanismes de défenses chez les hôtes.

Des chercheurs, dont certains issus des laboratoires Maladies Infectieuses et Vecteurs : Ecologie, Génétique, Evolution et Contrôle (MIVEGEC) et Littoral, Environnement et Sociétés (LIENSs), ont étudié si les processus cancéreux pouvaient modifier les interactions entre espèces. Ils ont développé un microcosme artificiel (tripartite) qui permet de tester expérimentalement si les individus porteurs de tumeurs, comparativement aux individus sains, entretiennent des interactions différentes avec leurs proies, leurs commensaux et leurs prédateurs.

L'étude a porté sur le cnidaire *Hydra oligactis* (que l'on appellera hydre), une espèce commune dans les écosystèmes aquatiques dulçaquicoles. Il s'agit d'un prédateur de petits invertébrés qui est également une proie pour les poissons et qui peut aussi héberger différents symbiontes. Cette espèce d'hydre peut développer des tumeurs qui modifient

radicalement le phénotype des individus (forme du corps du polype, nombre de tentacules).

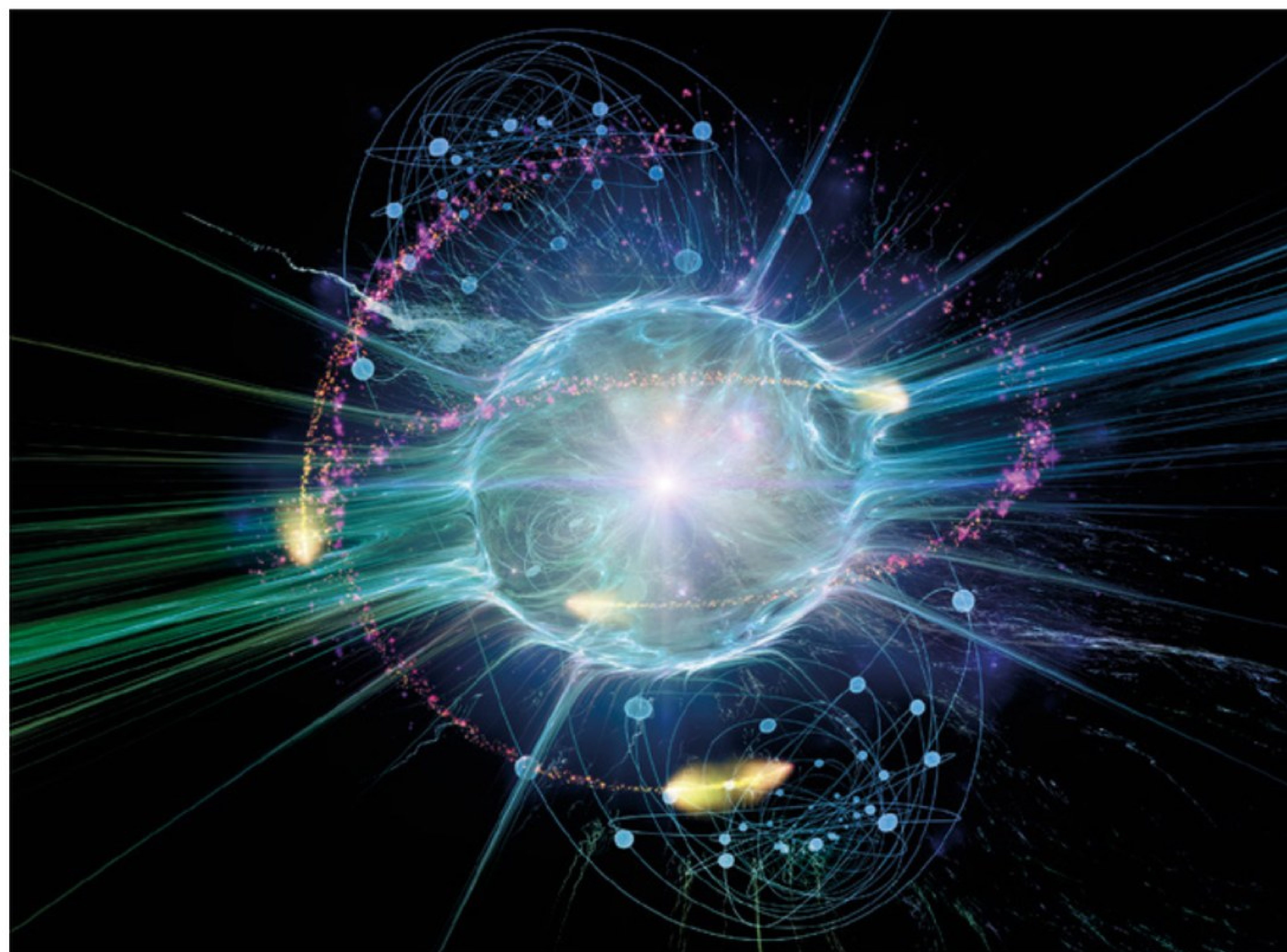
Étant donné les différences phénotypiques entre les hydres saines et tumorales, les scientifiques ont supposé que la présence de tumeurs devrait influencer les relations entre les hydres et les autres espèces. Ils ont alors comparé les conséquences des tumeurs sur trois types d'interactions biotiques : la capacité des hydres à attraper des proies, à servir d'hôte à un cilié commensal, et leur vulnérabilité aux prédateurs.

Les chercheurs ont montré que la capacité de prédation des hydres tumorales était augmentée par rapport aux hydres saines (mais il faut dire qu'elles ont un nombre supérieur de tentacules). Egalement que les hydres tumorales sont plus souvent colonisées par les ciliés où ils prolifèrent aussi plus rapidement. Enfin que les hydres tumorales sont plus souvent consommées par les poissons prédateurs.

L'implication écologique des processus oncogéniques mérite donc d'être étudiée de près. En présence d'hydres tumorales, des conséquences pourraient être attendues dans un écosystème, sur le cycle des nutriments, les interactions avec les parasites, etc. Par exemple, en boostant la dynamique de population de leurs ciliés commensaux, les hydres tumorales augmentent probablement le risque que d'autres espèces d'hydres soient aussi colonisées par ce cilié généraliste. (Source INEE)

Une résolution spatio-temporelle inégalée pour observer la lumière

Pouvoir relier les propriétés lumineuses et la structure d'un matériau à l'échelle du nanomètre donne accès à des informations précieuses. Pour la première fois, des physiciens ont mesuré en fonction du temps, à l'échelle de la nanoseconde, la lumière émise sous l'effet des électrons au sein d'un microscope électronique en transmission ultrarapide (UTEM).



En excitant un matériau par des photons ou des électrons, on observe parfois l'émission de lumière : c'est le phénomène de luminescence. L'analyse de cette lumière, et notamment son évolution temporelle, donne des informations précieuses sur ce matériau. Lors d'une excitation par des photons, l'analyse est faite avec une résolution spatiale de l'ordre du micromètre grâce à un microscope optique. En utilisant un microscope électronique à balayage, on peut obtenir une résolution spatiale nanométrique. Dans ce cas, l'excitation est produite par les électrons du faisceau du microscope : c'est le phénomène de cathodoluminescence. Et si l'on utilise un microscope électronique à transmission (TEM), on a accès à la structure atomique du matériau.

Des physiciens ont utilisé le microscope électronique à transmission ultrarapide (UTEM) développé au Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales (CEMES, CNRS) à Toulouse. Grâce à l'insertion près de l'échantillon d'un miroir parabolique de grande ouverture numérique développé au Laboratoire de physique des solides à Orsay (LPS, CNRS, Univ. Paris-Saclay), ils ont recueilli suffisamment de lumière pour enregistrer, pour la première fois, un signal de cathodoluminescence avec à la fois une résolution spatiale de l'ordre de la dizaine de nanomètres et une résolution temporelle inférieure à la nanoseconde !

Les chercheurs ont étudié des agrégats de nanodiamants possédant des défauts cristallins (dits centres NV), dans lesquels un atome d'azote coexiste avec une lacune, c'est-à-dire un atome manquant. Tandis que le diamant parfait est transparent, ces centres sont aussi appelés centres colorés du fait de la couleur

donnée par leur luminescence. Cette luminescence est transitoire et c'est sa durée de vie qui fut plus particulièrement l'objet de l'étude. Celle-ci a été déduite de la mesure en fonction du temps du signal de cathodoluminescence.

Pour ces expériences, le faisceau d'électrons de l'UTEM a été pulsé avec des impulsions d'une durée de 400 femtosecondes grâce à l'excitation de la source d'électrons du microscope, une pointe de tungstène, par un laser femtoseconde, puis focalisé sur un échantillon de nanodiamants.

Le principal défi pour les scientifiques fut de distinguer le signal du bruit. En effet, le courant du faisceau d'électrons pulsé de l'UTEM est bien plus faible que celui d'un TEM conventionnel, ce qui génère une diminution drastique du signal émis par l'échantillon. Aussi les chercheurs ont inséré dans l'objectif de ce microscope un miroir parabolique de grande ouverture numérique afin de collecter efficacement la lumière émise. Ils ont donc cartographié avec une résolution spatiale de 12 nm la durée de vie de l'excitation des centres colorés des nanodiamants (de l'ordre de 20 ns), avec une résolution temporelle inférieure à la nanoseconde.

Mesurer au sein d'un UTEM à la fois la structure atomique résolue spatialement et la cathodoluminescence résolue temporellement est très prometteur. Par exemple pour l'étude de l'émission de lumière dans des nanostructures semiconductrices. Cela s'avère intéressant pour des applications aux dispositifs optoélectroniques comme des photodétecteurs ou des sources de photons uniques. (Source INP)

Les plantes ont un sacré arsenal défensif



Et ce notamment dans leurs racines. Car ce sont elles qui leur permettent de se nourrir et elles ne doivent pas se tromper au risque de s'empoisonner ! Une équipe internationale de chercheurs a découvert comment se régulait la formation de la couche protectrice de ces racines.

Pour se nourrir, les plantes absorbent via leurs racines des éléments nutritifs et de l'eau présents dans le sol. Mais cette absorption doit être sélective, en particulier lorsque l'environnement est toxique pour la plante. C'est la subérine, une substance composée de lipides présente au niveau des racines des plantes, qui joue le rôle de barrière protectrice contre les différents stress de l'environnement.

Une étude précédente de Marie Barberon, professeure au Département de botanique et biologie végétale de la Faculté des sciences de l'UNIGE, a en effet montré que la subérine - constituant principal du liège - peut recouvrir les parois cellulaires, ou à l'inverse être dégradée pour modifier la perméabilité des racines aux nutriments présents dans l'environnement. La couche de subérine protège de cette manière la plante contre les pertes en eau, la présence d'éléments toxiques comme le sel ou le cadmium, mais elle permet aussi d'optimiser l'acquisition des nutriments nécessaires à la croissance.
Mais comment est régulée la présence de la subérine ? Une équipe internationale, dirigée par Marie Barberon, de l'Université de Genève (UNIGE), s'est intéressée à certains régulateurs présents dans l'endoderme, soit la couche de cellules qui entoure les vaisseaux transportant la sève et qui fabrique la subérine. Ils ont employé pour leur étude l'organisme modèle le plus utilisé par les botanistes : l'Arabette des dames. *« Nous avons pu nous servir d'une des caractéristiques de cette plante, la transparence de ses racines, pour observer directement en microscopie la présence ou non de la subérine après coloration, et ainsi identifier les protéines essentielles à sa production »*, note Vinay Shukla, chercheur au Département de botanique et biologie végétale. Ainsi les biologistes ont pu déterminer les 4 principales protéines responsables de la formation de la subérine. Et ils ont ainsi obtenu des plantes dont les racines sont toujours recouvertes de subérine. *« A l'aide de la technique CRISPR/*

Cas9, nous avons aussi généré un quadruple mutant pour ces protéines qui est incapable de produire la subérine », explique Vinay Shukla.

Les chercheurs ont alors cultivé ces Arabettes modifiées dans des milieux avec différentes teneurs en sodium. Cet élément nutritif, contenu dans le sel et nécessaire à la croissance des plantes, peut devenir toxique s'il est présent dans les sols en concentration trop élevée. *« Nous avons observé que les plantes, dont les racines sont continuellement recouvertes de subérine, absorbent moins le sodium que celles qui en sont dépourvues. Au contraire, ces dernières résistent moins bien aux concentrations toxiques »*, souligne Marie Barberon.

Les plantes modifient donc la perméabilité de leurs racines, via la production ou la dégradation de la subérine. Cette découverte des facteurs clés de la régulation de la formation de subérine dans les racines va permettre de disposer d'outils génétiques précieux pour mieux étudier son rôle dans le maintien de l'équilibre en nutriments chez les végétaux, mais également dans la résistance aux stress salins, à la sécheresse ou encore aux inondations.

On peut attendre un impact considérable de ces résultats chez les plantes d'intérêt agronomique : on pourrait à l'avenir sélectionner des plantes qui résistent mieux aux conditions environnementales défavorables.

L'érosion : une des principales menaces pour l'humanité

Et cette érosion est particulièrement élevée dans les zones de montagne ! Pour la première fois, une étude démontre que le développement de l'agriculture et du pastoralisme a entraîné une augmentation par 2 des taux d'érosion des sols dans les Alpes italiennes.



Sur notre planète, les sols sont naturellement dégradés par l'érosion. Ce processus géologique, en déplaçant la matière présente dans les sols et les roches, affecte principalement la zone critique, c'est-à-dire la mince pellicule superficielle de la Terre. Elle est appelée ainsi car elle est le lieu de développement de la plupart des formes de vie terrestres, mais aussi des sociétés humaines.

L'intensité de l'érosion a évolué au cours des âges, en fonction des fluctuations climatiques et de l'utilisation des terres. L'Europe et les Nations Unies ont aujourd'hui classé l'érosion et la perte des sols comme l'une des principales menaces pour l'humanité. Elle a des conséquences par exemple sur la production alimentaire, la qualité de l'eau et la biodiversité.

Des chercheurs de l'Université Savoie Mont Blanc (USMB), de l'Université Grenoble Alpes (UGA), de l'Université de Rouen Normandie (URN), du CNRS et de l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) ont étudié les taux d'érosion dans le Nord de l'Italie au cours des deux derniers millénaires. Ils ont pour cela utilisé les sédiments du lac Iseo, un point de convergence des cours d'eau d'un territoire montagneux de 1 777km² que l'on appelle bassin versant. Avec l'érosion, de petites particules se détachent des roches ou du sol et se retrouvent en suspension dans l'eau. Tous les sédiments déplacés lors de l'érosion du bassin versant nord italien se déposent dans le fond du lac. En étudiant les sédiments présents dans le lac, l'équipe a pu démêler le rôle du climat et celui de l'utilisation des terres par les humains dans l'augmentation de l'érosion dans le bassin versant. Et cela en simplifiant en deux parties le bassin versant du lac Iseo en fonction de l'altitude et du type de roches.

De fait, dans la partie de haute altitude, l'érosion est majoritairement due aux avancées et

reculs glaciaires ainsi qu'aux précipitations. Au contraire, dans la partie de moyenne et basse altitude, là où les sociétés humaines ont développé leurs activités depuis des millénaires, les différentes utilisations des sols et les précipitations ont impacté l'érosion. Pour la première fois, cette étude scientifique a donc pu démontrer que l'agriculture, le pastoralisme, l'exploitation de minerai et la déforestation ont provoqué une multiplication par 2 des taux d'érosion au cours des deux derniers millénaires.

La pandémie n'a pas profité aux femmes chercheuses

Elles ont en effet soumis nettement moins de recherches pour publication que leurs homologues masculins... Les inégalités dans le domaine des sciences, déjà constatées en temps ordinaire pour les femmes, se sont accrues avec la crise sanitaire : probablement du fait d'une surcharge de travail combinée à des tâches supplémentaires au sein du foyer familial.



Les recherches scientifiques sont menées conjointement par des chercheurs et chercheuses provenant de différentes institutions. Pour savoir quels sont les acteurs et actrices principales d'une étude, des places leur sont attribuées : le/la premier-ère auteur-e (la personne ayant le plus contribué dans la recherche) ; parfois un-e scientifique junior-e en début de carrière ; le/la dernier-ère auteur-e (la personne senior-e qui chapeaute l'ensemble de la recherche) ; et l'auteur-e de correspondance (la personne centrale de l'étude qui peut répondre à toutes les questions). Ces places sont déterminantes, notamment dans l'évaluation des carrières scientifiques et l'attribution d'éventuelles promotions : le critère du nombre d'articles publiés étant essentiel.

Au cours des deux années précédant la pandémie, les femmes occupaient 46% des places de premier-ère auteur-e, 31,4% celles de dernier-ère auteur-e et 38,9% celles d'auteur-e de correspondance. Les femmes scientifiques étaient donc en infériorité, en particulier dans les places de dernier-ère auteur-e, réservées aux scientifiques seniors.

Une équipe de l'Université de Genève (UNIGE) et des Hôpitaux universitaires de Genève (HUG), en collaboration avec le groupe d'édition BMJ, a voulu savoir si la pandémie avait eu un impact négatif sur la visibilité des femmes scientifiques aux places déterminantes d'auteures : ce qui pourrait nuire à leurs carrières. L'équipe genevoise a analysé les positions d'auteur-es principal-es dans 11 revues du groupe BMJ, soit 63 259 manuscrits soumis entre le 1er janvier 2018 et le 31 mai 2021.

Les résultats sont sans appel : ils montrent une importante chute de la production scientifique menée par des femmes. Durant la première partie de la pandémie (début 2020), on observe une diminution de près de 20% des femmes premières auteures, de 12% des dernières auteures et de 20% d'auteures de correspondance dans les manuscrits traitant du COVID-19. Cela correspond à la période de la mise en place du premier confinement et à la fermeture des écoles. Ce qui laisse supposer des surcharges professionnelles et familiales générant des difficultés pour poursuivre les activités de recherche. Cette perte de visibilité s'est atténuée par la suite, puis est revenue au niveau d'avant la pandémie lors de la reprise progressive des activités.

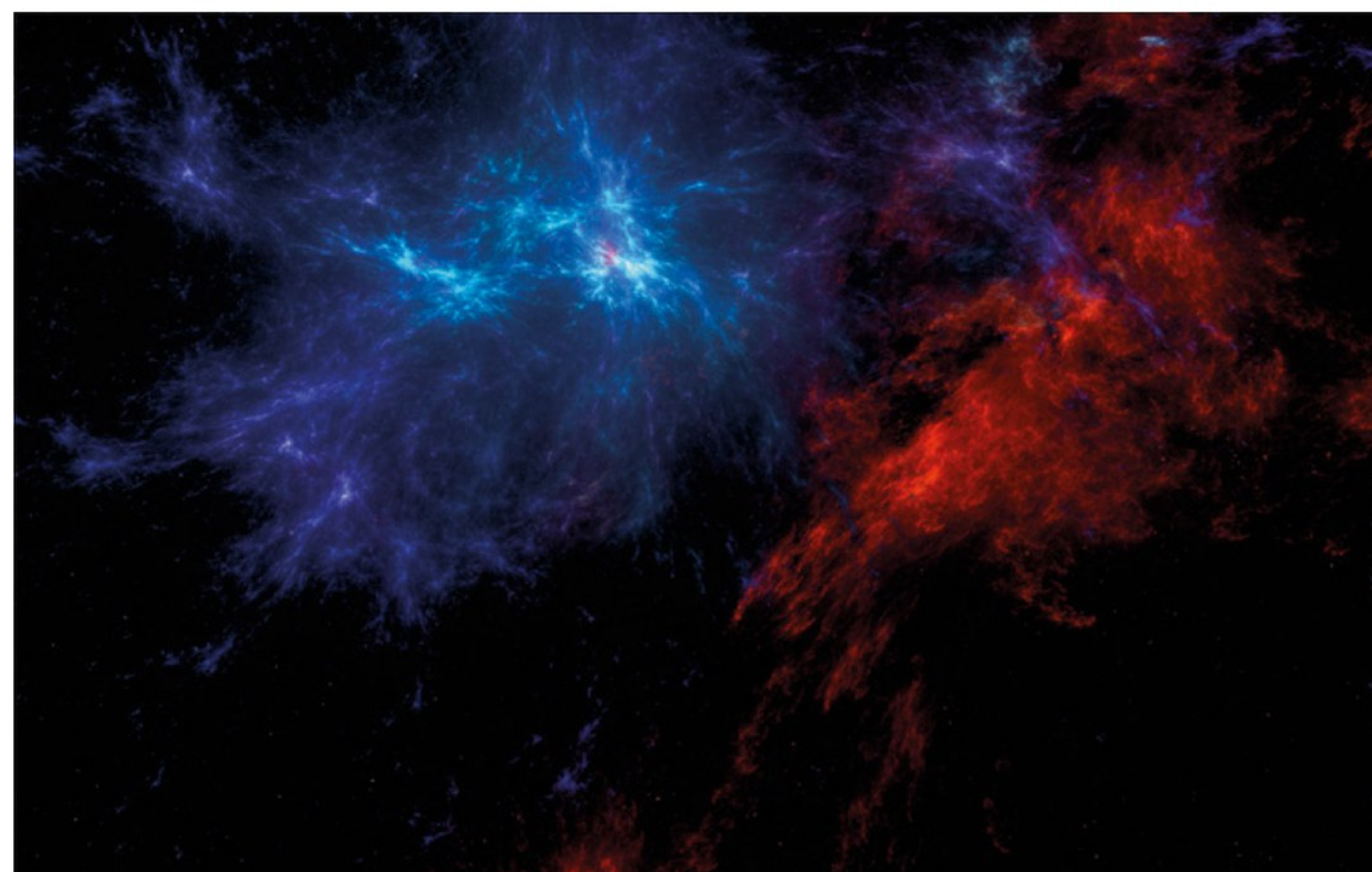
L'équipe a également constaté que, plus il y a d'auteur-es pour une recherche, moins les femmes y occupent les postes clés. Mais quand la dernière auteure est une femme, il y a deux fois plus de chances que la première auteure en soit une aussi. Enfin, de nettes

différences sont observées également entre pays. Ainsi, en Océanie (principalement en Australie), les femmes représentent 54% et 44% des premières et dernières auteures, contre 51% et 34% en Europe, et seulement 34% et 22% en Chine.

La pandémie a donc permis de mettre en exergue que les femmes ont été moins impliquées dans les recherches scientifiques liées au COVID-19, et qu'elles ont occupé des places moins prestigieuses que leurs collègues masculins. Le risque est un impact négatif sur leur carrière académique. Aussi l'équipe genevoise estime qu'il faudra tenir compte de ces inégalités.
A noter qu'Angèle Gayet-Ageron, professeure au Département de santé et médecine communautaires de la Faculté de médecine de l'UNIGE et médecin adjointe agrégée au Service d'épidémiologie clinique des HUG, est la première auteure de cette étude. Et que Khaoula Ben Messaoud, chercheuse au Département de santé et médecine communautaires de la Faculté de médecine de l'UNIGE, en est la co-première auteure.

Les jeunes et l'exploration martienne

Douze étudiants de première année de l'ISAE-SUPAERO ont réalisé un outil éducatif numérique pour sensibiliser à l'exploration spatiale. Il est exploitable en classe, de la sixième à la terminale.



Faire participer les lycéens et les collégiens à l'exploration martienne, tel est l'objectif de Sylvestre Maurice, astrophysicien à l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie (IRAP/OMP - CNRS/Université Toulouse III - Paul Sabatier/CNES). Sous son impulsion, 1e projet de mallette pédagogique « SuperCam - exploration martienne » a été initié par l'Académie de Toulouse, la Cité de l'Espace, le CNES, le CNRS et l'ISAE-SUPAERO. Il est le fruit d'une collaboration entre élèves ingénieurs, enseignants de collèges et lycées partenaires, ingénieurs, professeurs et chercheurs.

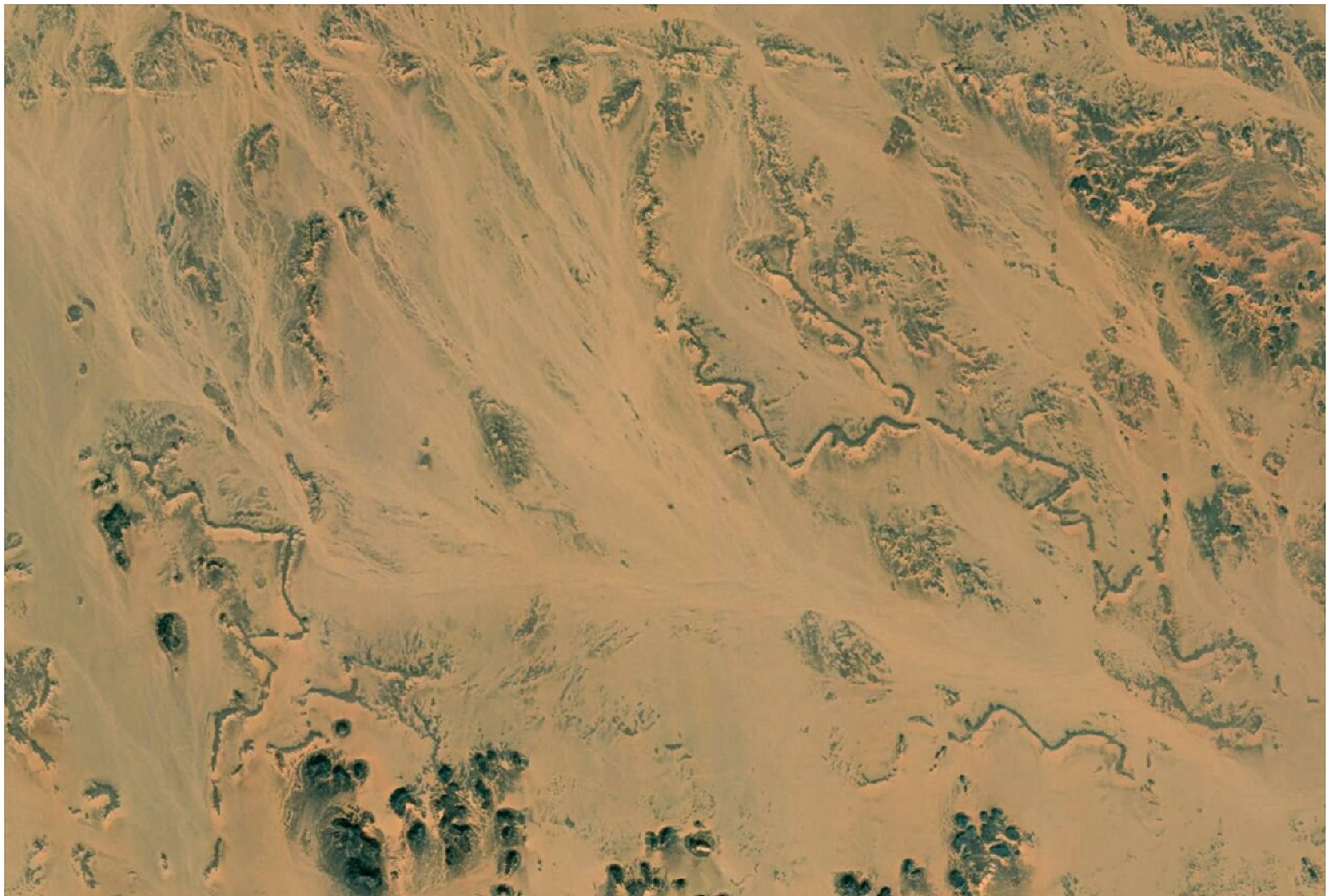
Ce projet a abouti au déploiement national d'une boite à outils pédagogique combinant exercices, expérimentations, quiz, tutoriels, photos, vidéos et présentations interactives sur les grandes thématiques de l'exploration spatiale. La mallette est mise à disposition des enseignants de collèges et lycées dans la rubrique éducative du site du CNES.

La malette pédagogique « SuperCam - exploration martienne » est disponible ici : https://enseignants-mediateurs.cnes.fr/fr/enseignants-et-mediateurs/ressources/mallettes-pedagogiques

Il y a 10 000 ans, le réchauffement climatique...

Nous connaissons actuellement sur Terre une recrudescence d'événements météorologiques extrêmes.
Les scientifiques l'attribuent au réchauffement climatique. Ce qui s'est passé dans le Sahara égyptien il y a 10 000 ans le confirme...

À cette époque, alors que le Sahara égyptien était encore vert suite à une période humide africaine entre 14 800 et 5 500 ans avant notre ère, les populations des rives du Nil ont migré. Pourquoi ? Aujourd'hui, cette région du nord du lac Nasser est aride, ne laissant comme traces de ce passé verdoyant que des rivières fossilisées. Des géologues dirigés par l'Université de Genève (UNIGE) se sont intéressés à ces rivières fossiles, afin de reconstruire la paléo-hydrologie de la région et déterminer le taux de précipitations de cette période humide africaine.



© UNIGE Esri World Imagery

Sur cette image satellite, on distingue les morphologies des rivières fossiles du sud de l'Égypte. Des rivières qui étaient intensément actives pendant la période humide africaine.

Pour reconstruire cette paléo-hydrologie, il faut tout d'abord observer les galets des rivières fossilisées. De gros galets indiquent un important débit d'eau nécessaire pour les transporter. La profondeur et la largeur de la rivière permettent de retracer ce débit d'eau en mètres cubes par seconde. Ensuite, il s'agit de connaître la surface du bassin de drainage, c'est-à-dire la zone qui connecte les eaux en amont de la rivière. Avec ces données, on obtient le taux de précipitation responsable du transport des sédiments étudiés.

Les scientifiques ont également daté les rivières, à l'aide de deux techniques différentes. La première, réalisée en collaboration avec l'ETH Zurich, consiste à dater au carbone 14 la matière organique qui comble la rivière fossilisée. La seconde, nommée Optically Stimulated Luminescence et réalisée avec des spécialistes de l'Université de Lausanne, mesure la luminescence des quartz pour obtenir l'âge du dépôt des sédiments.

Six rivières de la région ont été ainsi datées, confirmant qu'elles étaient principalement actives entre 13 000 et 5 000 ans avant notre ère, donc en pleine période humide africaine. L'étude montre également que les précipitations étaient très intenses, de 5 580 mm par heure, soit 3 à 4 fois plus fréquemment qu'avant la période africaine humide. Cette brusque augmentation d'épisodes de pluies intenses explique pourquoi il y a eu une forte migration des populations riveraines de la région vers le centre du territoire à cette époque. Car les crues violentes des rivières récurrentes rendaient les berges inhospitalières...

Dans le même temps, on a pu observer une augmentation de l'ordre de 7°C des températures de cette région. Cette étude montre donc comment le système Terre se comporte en cas de réchauffement climatique rapide. Nous sommes aujourd'hui dans le même cas de figure : une augmentation des températures entraînant la fréquence des événements de fortes pluies. Étudier la distribution des précipitations sur l'année va devenir un enjeu capital de prévention des risques.

Des monstres dans le ciel



© NASA/ESA/HEIC and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

Cette immense masse de gaz et de poussière, violente et chaotique, est un rémanent de supernova. Photographiée par le télescope spatial Hubble, l'objet, dénommé N 63A, est le reste d'une étoile massive qui a explosé et qui a éjecté ses couches de gaz dans une région déjà turbulente.

N 63A se trouve dans une zone de formation d'étoiles au sein du Grand nuage de Magellan, une galaxie située à 160 000 années-lumière de notre Voie lactée.

On a longtemps cru que les rémanents de galaxie participaient à la formation d'étoiles lorsqu'ils entraient en collision avec les gaz environnants. Celui-ci est encore jeune, et les collisions brutales qu'il génère détruisent les nuages de gaz plutôt que de les contraindre à s'effondrer pour former de nouvelles étoiles.

L'UNESCO dévoile ses nouvelles réserves de biosphère


© Rich Duncan

Au Canada, dans la réserve de biosphère de l'Átl'ka7tsem/baie Howe, vivent le grizzli, le carcajou et le pygargue à tête blanche.

20 nouvelles réserves, situées dans 21 pays, ont été choisies par le Programme sur l'Homme et la biosphère (MAB) de l'UNESCO qui fête ses 50 ans. Le Réseau mondial compte désormais 727 réserves, dont 22 sites transfrontaliers, dans 131 pays. Ces territoires, où se conjuguent conservation de la biodiversité, éducation environnementale et recherche et développement durable, couvrent désormais plus de 5% de la surface terrestre. L'ambition : atteindre 30% en 2030.

L'Arabie saoudite, le Lesotho et la Libye rejoignent ainsi le réseau MAB avec la désignation de leurs premiers sites : Juzur Farasan, Matšeng et Ashaafean. En Europe, la réserve de biosphère Mur-Drave-Danube, commune à 5 pays, devient le premier site cogéré par autant de pays. *« L'UNESCO accompagnera les pays pour réaliser l'objectif d'atteindre le seuil de 30% de zones protégées en 2030. Et cela commence ici, avec ces nouvelles réserves qui rejoignent le programme MAB »* a déclaré Audrey Azoulay, Directrice générale de l'UNESCO. *« L'éducation à l'environnement est également essentielle pour reconstruire notre relation avec la nature, de la petite enfance aux programmes de recherche sur la biodiversité, et l'UNESCO se mobilise pour que l'environnement devienne un élément clé des programmes scolaires, d'ici à 2025 »*, a-t-elle ajouté.

Education, recherche, sensibilisation... il s'agit d'encourager les pratiques innovantes en matière de développement durable et lutter contre le déclin de la biodiversité. Avec ces réserves qui couvrent tous les écosystèmes, tant en milieu urbain que rural, les communautés locales et autochtones et les États membres sont sensibilisés à la compréhension, la valorisation et la sauvegarde de l'environnement vivant. En plus de la faune et de la flore, les populations sont concernées par cette protection : lutte contre la pauvreté et les inégalités, santé, éducation, traitement de l'eau, énergie propre, croissance économique, villes durables, consommation responsable...

Premières nations et espèces rares en Amérique

Commençons notre tour d'horizon par l'Europe avec la réserve de biosphère Mur-Drave-Danube, qui est donc la première reliant 5w pays (Autriche, Croatie, Hongrie, Serbie, Slovénie). Elle englobe le réseau fluvial le plus vaste et le mieux préservé d'Europe centrale.
Elle vise à créer un modèle de coopération internationale pour la gestion des bassins fluviaux, tout en jetant des ponts entre les populations humaines et la nature. Environ 900 000 personnes vivent là, sur une superficie de 931 820 ha centrée sur le Danube et les affluents de la Mur et de la Drave, s'étendant des Alpes aux contreforts des Balkans en passant par le bassin des Carpates. Ce réseau fluvial unique offre des services écosystémiques essentiels et est indispensable à la pérennité d'habitats et d'espèces caractéristiques.

De l'autre côté de l'Atlantique, au Canada, la réserve de biosphère de l'Átl'ka7tsem/baie Howe est située à proximité de Vancouver. Elle englobe le fjord et les îles d'Átl'ka7tsem/Howe Sound sur une superficie de 218 723 ha, dont 16% sont des zones marines. Les écosystèmes montagneux côtiers de grande altitude influencés par l'Océan Pacifique accueillent une grande biodiversité, avec environ 721 espèces animales terrestres autochtones, parmi lesquelles le grizzli, le carcajou et le pygargue à tête blanche. On y trouve également des milliers d'espèces marines, notamment des récifs vivants d'éponges hexactinellides, dont on a longtemps pensé qu'ils avaient disparu il y a 40 millions d'années.


© Tim Turner

Les réserves de biosphère ont aussi pour but de préserver les populations et les cultures locales.

Átl'ka7tsem (prononcez At-Kat-soum) est le mot Sḵwx_wú7mesh/squamish pour désigner le fait de remonter la baie à la rame. Les membres des Premières Nations habitent cette région depuis des temps immémoriaux. La sylviculture durable et l'écotourisme représentent les principales activités économiques des 50 000 habitants de cette réserve. Après les effets dévastateurs sur l'environnement de la surpêche et de l'industrie lourde polluante, un tournant déterminant en faveur de la conservation et du développement responsable des ressources a été pris au milieu des années 1970. Après plus de 30 ans de

restauration, des signes prometteurs de reprise apparaissent. Les baleines, les dauphins et les saumons roses à bosse sont de retour, et l'estuaire constitue à nouveau un écosystème riche et productif : il est reconnu au niveau international comme une Zone importante pour la conservation des oiseaux.
En tant qu'intendants des terres et gardiens du savoir, les Premières nations sont des collaborateurs clés dans la création de la vision d'Átl'ka7tsem/baie Howe. Elles seront représentées auprès de l'organe directeur de la réserve de biosphère aux côtés de la société civile et des autorités locales.

Toujours sur le continent américain, citons la réserve de biosphère d'Avireri Vraem, dans le centre du Pérou. Elle s'étage sur des hauteurs comprises entre 280 m et 6 271 m, abritant 12 écosystèmes différents dans 3 écorégions : forêt amazonienne au pied des Andes, Yungas sur les pentes abruptes des montagnes avec des forêts de montagne et brumeuses, et région andine dans les hauteurs de la cordillère des Andes.

Sur plus de 4 millions d'hectares, elle abrite 257 espèces endémiques de faune, 307 espèces endémiques de flore menacées, et 115 espèces de faune figurant sur la liste rouge des espèces menacées de l'UICN. La population y parle 8 langues différentes. Le patrimoine culturel matériel et immatériel représente un élément déterminant de l'identité diversifiée de l'Avireri Vraem. « Avireri » est un héros mythologique ashaninka : il a contribué à façonner le monde en séparant le jour et la nuit, la saison sèche et la saison des pluies, tout en créant une musique pour chacun d'eux.

Il aurait également tenu tête aux envahisseurs en les transformant en rochers.

Montagne Pelée et Pays des étangs

En France, deux nouvelles réserves ont été créées. L'une, en Martinique, est la 12e réserve de biosphère située le long de l'arc volcanique des Caraïbes, l'un des 35 points chauds de la biodiversité mondiale. Sa richesse est unique : elle comprend de nombreuses espèces endémiques vivant dans des habitats rares et menacés. Elle couvre près de 5 millions ha, soit la totalité de l'île ainsi que sa zone économique exclusive marine. La géologie remarquable du site comprend le volcan actif de la montagne Pelée, haut de 1 397 mètres, des mornes endormis, et un littoral composé de baies et de criques. La forêt tropicale qui couvre les contreforts escarpés de l'île, et les mangroves qui bordent son littoral, témoignent de son rôle essentiel en tant que composante d'un corridor écologique entre les Amériques. 380 000 personnes vivent là et l'économie repose principalement sur l'agriculture, l'industrie agroalimentaire et le tourisme, avec un million de visiteurs par an.

© Fabien Lefebvre



La Martinique, l'un des points chauds de la biodiversité mondiale.

La seconde réserve est située dans l'Hexagone, en Moselle-Sud, entre les Ardennes et les Vosges. Cette réserve de biosphère rurale englobe la partie française des pentes montagneuses fertiles et des plaines dégagées de la vallée de la Moselle, qui s'est développée pour former un paysage culturel marqué par l'élevage bovin et ovin. Les forêts couvrent environ la moitié de la réserve, et les zones humides de l'ouest sont jalonnées d'innombrables étangs formés au fil des siècles pour drainer les pâturages et servir de retenues, notamment pour la pisciculture, dans une région connue sous le nom de « pays des étangs ». La vallée de la Moselle constitue un important carrefour d'Europe occidentale depuis le Moyen Âge. La réserve de biosphère doit devenir un centre d'agropastoralisme, d'écotourisme et de recherche environnementale.

Chez nos voisins italiens a été créée la réserve de biosphère du Monte Grappa, dans la ceinture préalpine de l'Italie orientale. Sur l'affleurement d'une faille, le paysage du Monte Grappa est composé de sommets enneigés et de prairies alpines typiques des

Dolomites ; il domine les écosystèmes plus vastes des plaines de la Vénétie et de la vallée du Pô. 25 municipalités se sont regroupées pour constituer la réserve, espérant attirer de nouveaux arrivants et contrer le dépeuplement progressif qui a commencé à la fin du 20e siècle en relançant les activités forestières et pastorales. Cette réserve est destinée à servir de laboratoire d'idées et de plateforme locale en faveur de l'économie verte et circulaire.

Quant à nos voisins espagnols, leur nouvelle réserve de biosphère Ribeira Sacra e Serras Do Oribio e Courel est située en Galice, à l'extrémité montagneuse du nord-ouest de la péninsule ibérique. C'est un site d'une grande beauté naturelle doté d'un riche patrimoine culturel. Le Miño serpente au fond des vertigineux canyons du Sil, dans un paysage de vallées, de dépressions tertiaires et de contreforts de maquis, d'où une diversité de microclimats. La réserve englobe désormais un géoparc mondial UNESCO et 6 sites Natura 2000. Elle constitue un refuge unique pour la biodiversité, abritant 1 214 espèces de flore vasculaire, soit 52,7% de la diversité floristique de la Galice, ainsi que 277 espèces de faune. Ce site représente l'extension la plus occidentale du corridor écologique formé par les réserves de biosphère des monts Cantabriques et les zones protégées de la côte atlantique européenne. Il est également célèbre en raison des Chemins de Saint-Jacques-de-Compostelle, inscrits sur la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO en 1993. On y trouve aussi des grottes, des abris sous roche, des pétroglyphes, des mégalithes, des monastères, des églises, des établissements anciens, et des ponts qui témoignent de la grande richesse de la région.


© Fabien Lefebvre

De nombreuses espèces endémiques vivent dans des habitats rares et menacés.

Taïga sibérienne et Route de la soie

En Russie, ce ne sont pas moins de 3 réserves de biosphère qui ont été créées. Tout d'abord, celle de la dépression lacustre d'Uvs. Il s'agit du plus grand lac de Mongolie, d'une superficie de 335 000 ha, entouré par les contreforts semi-arides des montagnes de l'Altaï méridional. Avec un bassin plat et peu profond, c'est un lac salé naturel. La réserve de biosphère transfrontalière regroupe en fait une réserve russe et une réserve mongole désignées en 1997. Elle s'étend sur une vaste superficie de plus de 2 millions ha ; elle relie l'intégralité de deux biomes de la taïga sibérienne et des steppes mongoles. Ce site abrite des espèces emblématiques comme l'argali, le léopard des neiges, l'ibex de l'Altaï, ainsi que des oiseaux migrateurs.
Située face aux vastes étendues sibériennes au nord et bordée par les montagnes de l'Altaï au sud, la chaîne du Kouznetsky Alataou n'a presque pas évolué depuis la dernière période glaciaire. Une nouvelle réserve englobe des montagnes où se côtoient le sapin et le pin de Sibérie ainsi que des écosystèmes de toundra et de taïga où vivent le renne des forêts sibériennes, l'élan et l'ours brun. Loutres, visons, rats musqués et castors prospèrent sur les rives des rivières et des lacs. La réserve de biosphère de plus de 2,5 millions ha abrite le peuple chor. Dans ces montagnes reculées, chaque année plus de 100 000 touristes visitent les monuments, assistent à des rites traditionnels et font l'expérience de la cuisine locale.

Enfin, avec les méandres de la Volga à l'ouest et surplombant les steppes du Kazakhstan à l'est, la réserve de biosphère du mont Grand-Bogdo constitue un véritable carrefour de paysages et de cultures. Elle abrite 230 espèces d'oiseaux, tels le pélican frisé, la buse à longues pattes, plusieurs espèces d'aigles et de faucons, et elle se trouve sur les voies de migration de plusieurs espèces d'oiseaux protégées par la convention de Ramsar.

L'écosystème montagneux semi-aride abrite aussi 88 espèces de plantes vasculaires supérieures, 12 espèces de reptiles (notamment l'alsophyle de la Caspienne endémique), plus de 160 taxons d'insectes et 113 espèces d'arachnides, et également 46 espèces de mammifères, dont une population relique d'antilopes Saiga tatarica, des sangliers, des élans et des chevreuils.
Au centre de la réserve, le lac Baskountchak, connu dans toute la Russie pour sa production de sel, se détache du maquis environnant. De nombreux monuments archéologiques et culturels témoignent de la situation de la région sur la Route de la soie. Sa population clairsemée comprend des Russes, des Kazakhs, des Ukrainiens, des Tchétchènes, des Tatars, des Coréens, des Azerbaïdjanais et des Kalmouks ! Ils vivent principalement de l'agriculture et de l'élevage, entre autres de chevaux. Hormis la conservation de la nature et le tourisme, cette réserve servira de pôle pour la recherche sur l'utilisation médicinale traditionnelle des plantes et de l'argile.

© Yakov Oskanov



Au centre de la réserve de biosphère du mont Grand-Bogdo, le lac Baskountchak, connu dans toute la Russie pour sa production de sel.

Du léopard des neiges au Dugong dugon



© Saudi Heritage Preservation Society

Les îles Farasan, en Arabie Saoudite, abritent de la mangrove rouge menacée.

En Asie centrale, l'UNESCO a choisi un site au Kazakhstan, dans la partie nord de la chaîne montagneuse du Tianshan. La réserve de Kolsai Kolderi présente des paysages uniques de steppes qui s'élèvent jusqu'aux sommets glacés de la ceinture alpine, des canyons, des rivières et des lacs spectaculaires bordés de forêts de conifères et de feuillus. On y trouve de nombreuses espèces rares et menacées, notamment l'ours brun du Tianshan, le léopard des neiges et le lynx du Turkestan.Cette réserve de biosphère présente un énorme potentiel pour le tourisme durable, renforcé par sa proximité avec Almaty, centre financier, économique et culturel du Kazakhstan. L'objectif principal de cette réserve est d'en préserver les caractéristiques naturelles typiques, rares et uniques, et de soutenir un développement socio-économique durable.

Un autre site a été choisi en Ouzbékistan, dans la basse vallée de l'Amou-Daria, au sud-est de l'ancienne côte de la mer d'Aral. Ce site

représente l'une des plus grandes zones de forêts tugay naturelles en Asie centrale, un écosystème unique et généralement menacé. Il constitue un habitat d'importance pour la faune et la flore et il comprend la plus grande biodiversité des régions désertiques d'Asie centrale. C'est aussi le milieu naturel et protégé du cerf de Bactriane, espèce menacée.Le but est de notamment conserver et restaurer les paysages naturels, les espèces animales et végétales des forêts tugay, ainsi que d'autres éléments naturels caractéristiques des forêts ripariennes d'Asie centrale.

Au Moyen-Orient, c'est en Arabie Saoudite que vient d'être créée la réserve de biosphère des îles Farasan/Juzur Farasan. Cet archipel est situé à l'extrême sud-ouest du pays, près de la frontière yéménite. Cette zone associe des habitats marins et terrestres qui constituent un ensemble d'écosystèmes importants dans le sud de la mer Rouge. Les îles Farasan abritent des espèces rares et endémiques de flore et de faune qui font de cette première réserve du pays un site exceptionnel. Elle abrite notamment 3 des 13 peuplements recensés en Arabie saoudite de la mangrove rouge de Rhizophora mucronata (une espèce menacée), ainsi qu'une population relique de Dugong dugon (classée comme vulnérable sur la liste rouge de l'UICN), la plus grande population de gazelles Idmi du pays, et diverses espèces d'oiseaux marins (pélican gris en période de nidification, balbuzard pêcheur, pluvier crabier), d'espèces marines (diverses espèces de dauphins, baleines, tortues de mer à écailles, coraux et raies mantas) et de reptiles. L'isolement de ces îles a favorisé la préservation de nombreuses traditions agricoles ancestrales : terrasses artificielles, dispositifs d'irrigation traditionnels, puits peu profonds, etc.


© Farkhat Abdykairov

Le léopard des neiges, une espèce menacée protégée dans la nouvelle réserve de biosphère du Kazakhstan.

Le « Royaume dans le ciel »

L'Afrique comprend également beaucoup de territoires nécessitant une protection au niveau de la biosphère. En Libye, la réserve d'Ashaafean, située dans la partie nord-est des montagnes Nafusa, devient la première réserve de biosphère du pays. Sa région montagneuse biogéographique méditerranéenne présente une grande variété d'habitats : elle comprend des forêts sèches et des prairies steppiques au nord, ainsi que des zones méridionales hyperarides dans le désert du Sahara. Protégée par décret gouvernemental depuis 1978, l'aire centrale de la réserve abrite une variété d'espèces rares ou menacées, notamment des plantes médicinales et aromatiques ainsi que des espèces de faune inscrites sur la liste rouge de l'UICN : la hyène rayée, la tortue terrestre, l'outarde houbara, etc. Cette zone constitue une plateforme de recherche et de formation pour les étudiants travaillant sur la conservation de la biodiversité et le développement durable. La région est connue en particulier pour la qualité de ses olives et de son huile.

Première réserve de biosphère du Lesotho, le Matšeng se situe dans les hauts plateaux du nord du pays, parfois dénommé le « Royaume dans le ciel » en raison de la hauteur des monts Drakensberg-Maloti. Son écosystème naturel est peu perturbé, avec des niveaux élevés d'endémisme et des traits naturels saisissants, notamment les dernières forêts indigènes du Lesotho. Ce site est une zone d'oiseaux endémiques de haute priorité, avec des espèces comme le serin de Symons. Agriculture de subsistance et élevage (bovins, moutons et chèvres pour la laine et le mohair, chevaux pour le transport et ânes comme bêtes de somme) représentent les principales activités économiques de la région. La réserve va encourager une agriculture raisonnée et un écotourisme culturel et naturel d'autant plus attrayant que les panoramas montagneux sont impressionnants et que les sentiers sont propices à la randonnée et au trekking à dos de poney.



© MAB Team Lesotho

Au Lesotho, le « Royaume dans le ciel » a un écosystème naturel peu perturbé (ici l'aloès spirale).

Maeulsup et gudeuljangnon



© Luu Xuan Vinh

Au Viet Nam, dans la réserve de Nui Chua, vivent de nombreux groupes ethniques aux cultures diverses : Kinh, Cham, Raglai, Hoa, Tay, Nung, Muong…

Nous terminerons notre voyage par l'Extrême-Orient, où divers pays ont été choisis par l'UNESCO. Tout d'abord la République de Corée, avec la réserve de biosphère de l'Archipel de Wando. Situé à l'extrémité sud de la péninsule coréenne, cet archipel comprend 265 îles ; seulement 55 sont habitées par quelque 50 000 personnes qui accueillent 3 millions de visiteurs par an. Les zones marines représentent près de 90% de cette réserve. Des forêts tempérées chaudes de feuillus persistants couvrent les pentes des montagnes et s'étendent le long des côtes. Divers écosystèmes coexistent, notamment des marais salants, des habitats rocheux, des zones sablonneuses, des estrans, ainsi que des zones intertidales et sublittorales s'étendant jusqu'à la mer et qui abritent une faune marine tout aussi riche. Cette réserve de biosphère présente de magnifiques exemples de pratiques traditionnelles de gestion des terres, tels les maeulsup (forêts et bosquets villageois

qui protègent les habitants et les terres agricoles des vents violents) et les gudeuljangnon (rizières en terrasses). Les habitants reconnaissent volontiers que ces pratiques durables et un environnement sain octroient une valeur importante supplémentaire à la production de produits de la mer et au tourisme dans leur archipel.

En Malaisie, le mont Penang est l'une des destinations touristiques les plus populaires, attirant 1,6 million de visiteurs chaque année. La nouvelle réserve de biosphère est située sur l'île de Penang, point chaud mondial de biodiversité. Elle présente le seul lac méromictique du pays, dont la couche inférieure d'eau de mer est recouverte d'une couche d'eau douce : elle constitue donc un écosystème rare qui abrite des espèces aquatiques fragiles et menacées, comme le crapaud endémique Ansonia penangensis. La réserve de biosphère du mont Penang est une mosaïque de paysages (urbains, agricoles et naturels) ; elle comprend l'une des dernières forêts pluviales côtières de Malaisie, des forêts de diptérocarpacées côtières de plaine et de montagne, des mangroves, des zones humides, des plages de sable et des récifs coralliens. Ces différents habitats abritent une grande diversité florale et faunistique, notamment des espèces endémiques et menacées telles que le dauphin de l'Irrawaddy, le pangolin javanais et des oiseaux migrateurs. Ses plages sont des lieux de ponte habituels pour les tortues de mer, menacées d'extinction.
Au 19e siècle, le mont Penang a constitué une attraction touristique de premier plan, attirant les responsables coloniaux et les botanistes. Depuis leur création en 1884, des jardins botaniques abritent la flore et la faune du mont Penang et comptent plus de 2 400 espèces végétales, dont plus de 200 orchidées.

En Thaïlande, la réserve de biosphère de Doi Chiang Dao est située dans la province de Chiang Mai. C'est la seule région du pays dotée d'une végétation subalpine, que l'on trouve également dans l'Himalaya et dans la partie sud de la Chine. De nombreuses espèces rares, menacées ou vulnérables vivent dans cette réserve, comme le gibbon à mains blanches, le semnopithèque de Phayre, le goral chinois, le tigre ou la panthère nébuleuse. Le paysage regorge de grottes qui ont été formées par l'infiltration des eaux pluviales à travers les formations calcaires. La plus grande et la plus importante d'entre elles est la grotte de Chiang Dao. Elle est associée à la légende de Chao Luang Chiang Dao, le roi de tous les esprits, qui résiderait dans l'imposante montagne Doi Chiang Dao. La grotte et la montagne sont donc considérées comme des lieux sacrés et attirent chaque année de nombreux visiteurs. Un temple bouddhiste de style Lanna marque d'ailleurs l'entrée de la grotte. Un modèle de gestion de l'impact des visiteurs a été mis en place. Les autres attractions touristiques locales sont l'écotourisme, l'observation des oiseaux et des étoiles. Quant à l'agriculture, activité notable du site, elle s'appuie sur un système d'irrigation traditionnel par gravité dénommé maung fai : les pratiques et les connaissances locales ont été maintenues pendant près de 800 ans.


© Luu Xuan Vinh
Le douc à pattes grises, un primate rare et endémique du Viet Nam.

Et pour finir, partons pour le Viet Nam avec ses deux nouvelles réserves de biosphère. Celle de Nui Chua englobe les zones terrestres et marines de la province de Ninh Thuan et se situe à l'extrémité de la chaîne de montagnes Truong Son. Le climat y est rude, avec un temps ensoleillé, chaud et aride et des précipitations minimales. Cette réserve est une zone représentative en matière de biodiversité, avec une mosaïque riche et diverse d'écosystèmes caractéristiques de la région du Centre-Sud du Viet Nam : notamment une végétation semi-aride unique, des plages de nidification pour les tortues de mer et des récifs coralliens. Parmi la population totale, les principaux groupes ethniques Kinh, Cham, Raglai, Hoa, Tay, Nung et Muong ont tous des cultures diverses, des traditions artistiques, religieuses et architecturales ainsi que de nombreux rituels et grands festivals.

Quant à la réserve de Kon ha Nung, elle est située sur les hauts plateaux du centre du Viet Nam, le « toit de l'Indochine », dont le sommet culminant atteint plus de 1 700 m. Elle abrite cependant 267 493 habitants, mais également des espèces rares telles que le douc à pattes grises, un primate rare et endémique du Viet Nam classé comme étant en danger critique d'extinction, avec seulement 1 000 individus à l'état sauvage environ. La réserve est gérée dans le respect des savoirs traditionnels des communautés locales, y compris les savoirs autochtones et populaires sur la production et l'organisation sociale. Le comité populaire de la province formule des mesures concernant l'attribution de terres et de forêts aux ménages, le paiement des services écosystémiques forestiers et le développement d'un écotourisme durable.

Jusqu'où vont mon



ter les océans ?



Impossible d'en douter aujourd'hui : le niveau des mers s'élève à un rythme relativement rapide, menaçant de larges portions de côtes. Mais calculer comment la mer va monter aux différents endroits du globe est beaucoup plus complexe qu'il n'y paraît.

Lors de l'édition 2021 des rencontres Cosquer qui a eu lieu au MUCEM, à Marseille, sous le patronage d'Édouard Bard, membre de l'Académie des sciences, des chercheurs français ont partagé leurs connaissances sur les enjeux de la montée des mers. Rappelons qu'à la Villa Méditerranée, tout à côté, ouvrira cette année la réplique de la grotte Cosquer dont l'original, au large de Marseille, est engloutie par 37 mètres de fond : elle est donc témoin du réchauffement climatique et de la montée des eaux passée, s'étalant sur un temps très long car liée cette fois à des phénomènes naturels. *« Lors de la dernière grande glaciation, il y a entre 20 000 et 30 000 ans, le rivage se situait à plus de 20 km de Marseille et le niveau de la mer était près de 130 mètres plus bas qu'aujourd'hui »* explique É. Bard. Les températures étaient bien plus froides qu'actuellement : les pingouins sur les parois de la grotte nous le rappellent. À cette époque, d'énormes calottes de glace, de 3 à 4 km d'épaisseur, recouvraient une partie des continents.

A Marseille, le niveau des mers est étudié depuis 1884 ! *« Ce qui a permis d'obtenir une des séries marégraphiques les plus longues du monde »* souligne É. Bard. On a pu observer ainsi une élévation de 20 cm depuis un siècle. Les autres marégraphes répartis aujourd'hui en un réseau sur la planète et, depuis les dernières décennies, les satellites altimétriques effectuent des observations, constatant une augmentation actuelle de plus 3 mm par an. Mais celle-ci va en s'accélérant...



Si le Groenland fond entièrement, les océans s'élèveront de 7 mètres.

150 millions de réfugiés climatiques dans 30 ans

Depuis 1993, on voit très nettement que l'élévation du niveau marin s'accélère : de 2 mm par an à cette époque, elle est de l'ordre de 4 à 5 mm sur les dernières années. Alors que l'augmentation au cours du 20e siècle était estimée à 20 cm, la mer est montée de 10 cm depuis 1990, ce qui illustre l'accélération.

Les données obtenues grâce aux satellites complètent aujourd'hui efficacement celles des marégraphes situés sur les côtes. *« On peut ainsi observer ce qui se passe en pleine mer, sur l'ensemble des océans, avec des mesures très précises non contaminées par les mouvements de la croûte »* explique Anny Cazenave, chercheur au Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales (Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse).

Le Groenland a perdu 4000 milliards de tonnes de glace depuis 2002.

Les satellites ont montré aussi que le niveau de la mer ne monte pas de manière uniforme : il s'élève plus dans l'hémisphère sud, le Pacifique tropical Ouest, certaines parties du nord du Pacifique et de l'Atlantique. Par exemple, dans le Pacifique tropical Ouest, la vitesse est multipliée par 3 par rapport à la moyenne globale. Depuis 30 ans, au lieu de 10 cm, la mer y est montée de 25 à 30 cm. Ce qui fait beaucoup dans ces régions dominées par des îles basses (atolls, etc.).

Quelles sont les causes principales de l'augmentation du niveau marin ? Elles sont bien connues aujourd'hui. *« Ce sont la dilatation thermique des océans (l'eau se dilate car la mer se réchauffe) et les apports d'eau douce provenant de la fonte des glaciers continentaux et des calottes polaires. »*

Pour mesurer la contribution de la dilatation thermique sur l'ensemble des océans, le programme international Argo mesure la température et la salinité jusqu'à 2000 m de profondeur avec 3900 flotteurs. Pour les glaces, la mission révolutionnaire GRACE de la NASA, en orbite depuis 2002 et composée de deux satellites qui se suivent, mesure toutes les redistributions de masse de la Terre. Et notamment le phénomène de rebond isostatique (cf ci-après). Et cette perte de masse de glace continue : le Groenland a perdu 4000 milliards de tonnes de glace depuis 2002, et l'Antarctique un petit peu moins. Ils seraient à environ 60% responsables de l'élévation du niveau des océans.

Comment la mer va-t-elle continuer à monter ? Tout dépend des scénarios futurs d'émissions de gaz à effet de serre. Le sixième rapport du GIEC du 8 août 2021 a revu ses projections précédentes sur le climat. Le scénario le plus optimiste implique de respecter le zéro émission à partir de 2050-70, comme prévu par l'Accord de Paris de 2015 sur le climat. Mais cela suppose que l'on ait atteint aujourd'hui un pic d'émission, ce qui est peu probable. Si l'on continue donc à émettre comme actuellement, le niveau de la mer augmentera de 85 cm



voire 1 mètre d'ici la fin du siècle. Et si les calottes polaires devenaient instables (comme on l'observe sur une partie de l'Antarctique), le niveau de la mer sera bien supérieur : 2 m à 2,50 m en 2100. Comme nous le verrons par la suite, ce niveau marin va plutôt baisser autour des calottes glaciaires et augmenter beaucoup dans les zones tropicales.

Un mètre, cela a peu d'impact au milieu d'un océan. Mais les régions côtières sont menacées, et c'est là que vit une grande partie de la population mondiale. Selon les prévisions du GIEC, 150 millions d'habitants en 2050 et 230 millions en 2100 seront exposés à des inondations permanentes, tandis que 300 millions en 2050 et 390 millions en 2100 seront exposés à des inondations temporaires à récurrence annuelle.

D'autant qu'il faut considérer l'apport d'eau douce par les fleuves, les tempêtes, l'érosion, le stress des activités humaines : cela modifie la morphologie des côtes et la superposition de tous ces phénomènes aggrave la situation. Dans bien des régions, ce n'est pas l'augmentation du niveau marin qui domine mais la baisse des sols liée aux activités humaines (le pompage pour l'alimentation en eau dans les mégalopoles, par exemple). Ainsi Jakarta s'enfonce de 26 cm par an !

Une élévation des océans d'1 mètre...

...mettrait par exemple la moitié de la Camargue sous les eaux. 10% de la population mondiale est concernée par la hausse du niveau marin : elle vit à une altitude de moins de 10 mètres. Et les principales mégalopoles de la planète seront les pieds dans l'eau.



Une grande partie de la population mondiale vit au bord de l'eau.

Lorsque l'océan était 130 mètres plus bas...

Il y a 20 000 ans, les calottes glaciaires étaient bien plus étendues qu'aujourd'hui. Dans l'hémisphère nord, il ne reste quasiment que le Groenland alors qu'à l'époque tout le nord de l'Amérique était recouvert par la calotte du Laurentide et le nord de l'Eurasie par celle de la Fennoscandie. Jusqu'à 4 km de glace pesaient sur ces zones et le niveau des mers était près de 130 m plus bas qu'actuellement.

Pour comprendre comment va s'élever le niveau des océans, il faut étudier les calottes glaciaires. Et la glaciologue Catherine Ritz, directrice de recherche CNRS à l'IGE (Institut des Géosciences de l'Environnement à Grenoble), explique combien ces calottes glaciaires et leur évolution sont complexes.

Pour reconstruire le niveau marin du passé, il faut savoir tout d'abord que la quantité d'eau sur Terre est constante, mais aussi la fraction d'isotopes lourds sur la planète. Et les calottes ont une composition appauvrie en isotopes lourds de l'eau, donc l'océan se trouve enrichi lors d'une glaciation. En étudiant les coquilles des animaux (leur composition isotopique) en surface et au fond des mers grâce aux carottes marines, on peut par conséquent analyser la composition isotopique des océans et relier à la quantité d'eau dans ces derniers.

Cette quantité d'eau diminue donc lors des glaciations, alors que se forment les calottes glaciaires. À noter qu'il existe une ligne d'équilibre en dessous de laquelle la neige qui tombe dessus ne deviendra pas de la glace pérenne. Et cette ligne d'équilibre varie en fonction de l'insolation, et donc de la latitude (1 degré pour 1 degré de latitude). Tant que le climat reste froid, la glace s'écoule et la calotte peut s'étendre.

Lorsque la calotte glaciaire grossit, le continent situé en dessous s'enfonce (du tiers de l'épaisseur de la calotte) et cela crée un bourrelet sur les côtés. Quand la calotte fond (ce qui se produit toujours de manière non

Si tout le Groenland fondait, la mer s'élèverait de +7 mètres, tandis que la partie instable de l'Antarctique de l'Ouest ferait s'élever les océans de +5 mètres.



Voici à quoi ressemblait l'Amérique du Nord il y a 20 000 ans.

linéaire), le continent va remonter, avec un temps de décalage. Si la calotte diminue trop, elle se trouve à un moment en dessous de sa ligne d'équilibre et elle ne peut donc plus se reformer même s'il neige. *« C'est ce qui s'est passé apparemment dans l'hémisphère nord lors de la dernière déglaciation pour les calottes du Laurentide et de Fennoscandie qui ont disparu. D'immenses lacs sont restés, qui ont provoqué à certaines périodes des inondations catastrophiques. C'est la grosse crainte pour le Groenland dans le futur »* note C.Ritz.

La mer monte, mais certains continents aussi



La fonte de l'Antarctique est-elle évitable?

Ce cycle, que l'on appelle cycle d'isostasie (soit l'équilibre des différents points de l'écorce terrestre) n'est pas fini : il dure plusieurs milliers d'années. Le Laurentide et la Fennoscandinavie sont toujours en train de remonter, tandis que le bourrelet à l'extérieur de la calotte redescend.

D'autre part, le champ de gravité sur Terre dépend de la répartition des masses. Et donc la fonte d'une calotte glaciaire modifie le champ de gravité de la Terre et la répartition géographique du niveau des mers. *« Ainsi, si l'Antarctique s'effondre, le niveau des mers va baisser localement. Par contre, à l'autre bout de la Terre, cette masse d'eau sera là. De la même façon pour le Groenland. »* En fait, le niveau des mers est un phénomène extrêmement compliqué *« parce qu'il y a un changement de masse, un changement de volume avec l'expansion thermique (l'eau plus chaude prend plus de place pour une même masse), et de plus le « récipient » change de forme, remonte ou descend, et on a un changement de forme du champ de gravité. »* Aussi, quand on évalue un niveau des mers à un endroit donné, ce n'est pas représentatif d'un niveau global, cela dépend notamment si l'on est près ou loin d'une calotte glaciaire.

Un modèle a été récemment publié, retraçant l'évolution sur les derniers 80 000 ans des volumes de glace et du niveau des mers (à des endroits éloignés des calottes glaciaires). On observe que le Laurentide, au maximum de

« La dernière fois que la Terre a connu le même niveau de CO_2 qu'aujourd'hui, c'était au dernier interglaciaire. Il faisait à peine plus chaud qu'aujourd'hui, mais les mers étaient plus hautes de 6 à 20 m par rapport au niveau actuel. »

Catherine Ritz,
glaciologue au CNRS.

sa glaciation il y a 22 000 ans, fut le principal contributeur à l'évolution du niveau des mers, avec une fin de la déglaciation il y a 7 000 ans. La Fennoscandie a eu une histoire bien plus chahutée, avec un déplacement de la calotte suivant les époques, avançant sur les Iles Britanniques par moment, et a déglacé jusqu'il y a 10 000 ans.

Que se passe-t-il concrètement sur les bords marins ? Lorsque la calotte fond, les glaciers arrivés à la côte flottent sur la mer. C'est ce qui arrive actuellement en Antarctique. Si l'ice shelf (l'immense plate forme de glace flottante) s'épaissit, il peut finir par se poser. La base de la calotte se trouve alors sous le niveau de la mer. Si la pente du socle est rétrograde, le flux de glace va augmenter et cela va vider la calotte. *« C'est le principal danger pour l'Antarctique de l'Ouest, on a même vu des endroits où cela a commencé. L'Antarctique de l'Ouest aura disparu dans 5 000 ans probablement. »*
Une bonne partie du socle de l'Antarctique est en effet sous le niveau des mers. *« On a longtemps pensé que l'Antarctique de l'Est était stable mais ce ne serait pas le cas. Il risque donc de suivre le même processus, même si cela mettra plus de temps à arriver (car il devrait notamment y neiger un peu plus dans l'avenir). »* Au bord de la mer de Barents et en baie d'Hudson, on constate la même instabilité des calottes.

Donc les calottes glaciaires, élément clé du système Terre, ont un rôle crucial. Le niveau des mers reflète la masse de glace stockée dans les calottes mais leur impact n'est pas simple à étudier du fait de l'isostasie, du changement du champ de gravité et des effets thermiques.

Des preuves concrètes



La Hollande continue à descendre depuis la déglaciation.

Quelles preuves avons-nous de la montée du niveau de la mer depuis le dernier maximum glaciaire (20-21 000 ans) ? Au CEREGE (Centre de Recherche et d'Enseignement de Géosciences de l'Environnement) d'Aix-en-Provence, les scientifiques travaillent depuis une trentaine d'années sur le sujet. Édouard Bard, Professeur au Collège de France et chercheur au CEREGE, nous livre les découvertes faites avec leurs « machines à remonter le temps » (spectromètre de masse dédié au carbone 14 ou à l'uranium-thorium, etc.).

Pour déterminer les fluctuations du niveau marin, on utilise des marqueurs biologiques retrouvés à l'état fossile et que l'on peut dater : récifs coralliens, terrasses coralliennes, trottoirs algaires, micro-atolls de Porites. *« Ces organismes synthétisent de la pierre, du carbonate de calcium : on va donc les retrouver en carottages ou en prélevant directement des échantillons. »* Par exemple, les coraux fonctionnent en symbiose avec des algues. Ces dernières vivent en surface car elles ont besoin de lumière pour la photosynthèse. Les coraux vont par conséquent suivre le niveau marin pour rester également en surface.

Autres grandes évidences de la fluctuation du niveau marin : les encoches marines. Par exemple, sur la côte italienne, au nord et au sud de Rome, à 7 m au-dessus du niveau marin actuel, on peut observer une encoche sur la falaise qui correspond à -125 000 ans (le dernier interglaciaire). Cette datation a été obtenue grâce aux coquillages typiques qui y sont fossilisés.
Le CEREGE a d'abord travaillé aux Caraïbes, et depuis 25 ans en Polynésie pour reconstituer le niveau marin à Tahiti. Le forage de récifs coralliens, avec ses carottages, y montre la remontée du niveau marin. De 120 m en dessous du niveau actuel au dernier maximum glaciaire il y a 20 000 ans, il s'est élevé progressivement. Une augmentation pas régulière, avec des accélérations, parfois d'1 millimètre par an, parfois de 40 à 50 mm par an. Tous les enregistrements montrent une

accélération il y a 15 000 ans, dû à la dynamique de fonte de la calotte Laurentide. Ces enregistrements sont les mêmes en Barbade par exemple ou en Nouvelle-Guinée. Puis le niveau s'est stabilisé depuis environ 6 000 ans.

On a pu également estimer que l'entrée de la grotte Cosquer a été fermée vers -10 000 ans. Dans la mer près de Marseille, il n'y a pas de coraux marins mais des trottoirs algaires, des formations d'algues rouges qui restent à fleur d'eau. Des fossiles sont présents à différentes profondeurs. On observe une remontée de l'ordre de 1 m à 1,50 m sur les derniers 4-5 000 ans, équivalant à 0,3 mm par an, soit 10 fois plus faible que la fluctuation observée aujourd'hui par satellite. Il faut donc mettre en parallèle les différentes observations qui ne concordent pas toujours.

Les micro-atolls vivent aussi au raz de l'eau et permettent d'obtenir une grande précision sur le niveau marin : des micro-atolls de Polynésie fossilisés ont été datés, montrant que depuis 4 à 5000 ans, le niveau des mers baisse au contraire d'1 mètre.

Rien à voir donc avec les conclusions recueillies à Marseille, mais il y a à cela une explication. La Terre se déforme, tout n'est pas homogène. Comme nous l'avons dit précédemment, la calotte de glace posée sur un continent crée une dépression, tandis qu'un bourrelet périglaciaire se forme autour. Quand la calotte fond, même si cela s'effectue rapidement, la Terre est plus lente à se remettre en forme. Et toute la planète, même dans les zones éloignées des calottes, est affectée par ces changements de morphologie : *« c'est le phénomène de réajustement isostatique post-glaciaire qui se poursuit encore aujourd'hui. »*
En Amérique du Nord, la Terre remonte d'1 cm par an au Canada, et baisse au contraire aux États-Unis. Même chose pour la Scandinavie qui remonte, tandis que toute la zone du bourrelet périphérique descend (la Hollande par exemple, ce qui double les problèmes puisque la région est déjà en dessous du niveau de la mer). Ces changements sont liés à la remise en forme de la Terre, avec la mémoire de la glaciation.

Comme nous l'avons dit, le rebond isostatique post-glaciaire affecte aussi le champ de gravité terrestre. Le couple de satellites gravimétriques GRACE de la NASA (qui étudient le champ de gravité à partir des masses qui pèsent sur la Terre) mesure cela : *« on voit une augmentation de la masse au niveau de la calotte du Laurentide, qui ne correspond pas à une augmentation de la calotte bien sûr mais au flux centripète dans le manteau terrestre qui se remet en forme, et une perte de la masse actuellement suite à la fonte des glaciers du Groenland et de l'Alaska. »*

L'océan s'élève, mais la Terre bouge

Suite à la dernière glaciation, la Terre se remet en forme : les continents qui étaient situés sous les calottes glaciaires remontent encore aujourd'hui, ceux situés sur le pourtour redescendent. Il faut prendre en compte ce rebond isostatique post-glaciaire qui affecte le champ de gravité actuel. Et donc faire des corrections lors des simulations pour tenir compte de ce rebond et des changements de masse sur Terre.

Toutes ces données permettent de reconstituer l'évolution du niveau de la mer moyen global directement lié au volume d'eau dans l'océan. *« Mais il n'y a pas un trait de côte où on peut le reconstituer, il faut compiler toutes les modélisations. »* Cependant les résultats peuvent différer de plusieurs mètres...

Les traces de la dernière glaciation

La paléo-environnementaliste Cécile Miramont (Maître de conférences Aix Marseille Université, Avignon Université, CNRS, IRD, IMBE) explique comment il est possible d'observer aujourd'hui des témoignages de la dernière glaciation et de ses suites. Elle a plus particulièrement étudié les paysages provençaux.

L'environnement de la grotte Cosquer était alors très différent de l'actuel, puisque l'entrée de la grotte est aujourd'hui à 37 mètres sous le niveau de la mer. Le climat était beaucoup plus froid et plus sec qu'aujourd'hui. Le sol était recouvert d'une steppe froide et les collines provençales étaient vraisemblablement recouvertes de neige permanente. Les Alpes étaient blanches avec de grands glaciers et de larges fleuves de glace remplissant les vallées : seuls les sommets émergeaient.

« La Durance ne se jetait pas dans le Rhône mais dans la Méditerranée par un grand delta : la plaine de la Crau », où l'on retrouve les grands galets apportés par le fleuve devenu aujourd'hui rivière. *« On peut observer les traces du glacier de la Durance jusqu'à Sisteron »* grâce aux moraines (les sédiments transportés par le glacier). Des blocs erratiques, blocs de granite sur un substrat calcaire, ont également été retrouvés près de Gap et sur la Mer de Glace, transportés par les glaces. *« Ces blocs sont à l'origine de la découverte des climats du passé et des glaciations. »* Autrefois, les scientifiques se demandaient comment ces blocs énormes avaient pu être déplacés jusque-là. Les glaciers ont aussi poli les roches, et ceci est un autre témoignage de leur présence. Dans les paysages actuels, on retrouve donc toutes les traces de ces glaciers : les vallées en auges avec des moraines, des ombilics devenus lacs (lac d'Allos, tourbière du Laus...), des verrous glaciaires devenus gorges. Les demoiselles coiffées sont d'anciennes moraines des glaciers démantelées par l'érosion actuelle.
En dehors des glaciers, les sols étaient gelés dans les Alpes avec la présence de permafrost,



Il y a 20 000 ans, Marseille était à 20 km de la mer!

ou pergélisol : *« ce qui donne des sols polygonaux lorsque le sol gonfle sous l'effet du gel et expulse latéralement les caillous qu'il contient. »* On en retrouve dans les Alpilles. Un paléo-mistral balayait alors les paysages : il y en a des traces sur le versant nord des Alpilles. Le sable de la steppe peu protégée par la végétation était projeté sur le versant sud. Et effectivement, des champs de dunes fossiles servent de carrière dans les Alpilles.

« Pendant la période glaciaire, le climat n'était cependant pas homogène : il y a eu des interstades plus tempérés. » La végétation pouvait alors se développer. Dans la dépression de Saint Maximin, les archéologues de l'Inrap (l'Institut national de recherches archéologiques préventives) ont ainsi découvert les traces d'un lac. C'était l'époque où Sapiens est venu remplacer Neandertal.

Puis la déglaciation a transformé les paysages et le niveau de la mer est remonté rapidement. Dès que les glaciers ont fondu, les hommes ont fait très tôt des incursions en montagne et les plus vieux outils retrouvés en Provence datent de 17 à 19 000 ans (dans la vallée de Freissinières). Des carottages dans le lac d'Allos (le plus grand lac d'altitude européen, situé dans le parc du Mercantour) montre bien qu'il n'existait pas il y a 20 000 ans mais qu'un glacier occupait la vallée. Les températures et les précipitations ont augmenté, une végétation pionnière s'est installée et s'est densifiée peu à peu : une forêt dense de sapins était présente sur les versants il y a 8 à 9000 ans.

La vie s'est alors développée dans le lac, comme on peut l'observer avec des sédiments plus verts sur les carottages. Il y a 6500 ans, l'analyse des pollens montre que la forêt commence à être défrichée : c'est le début du pastoralisme. Au début de notre ère, la forêt disparaît. Elle renaît au début du 20e siècle suite à la diminution de la pression pastorale. Une mosaïque de paysages riches en biodiversité apparaît mais l'écosystème lacustre est dégradé notamment depuis la construction d'un refuge touristique au bord du lac.

Donc les pâturages, la pêche, le tourisme influent sur les paysages. Les données du passé servent aux gestionnaires de la nature pour décider de la protection et de la restauration de l'environnement, tout en n'ayant pas obligatoirement pour objectif de revenir en arrière : l'homme doit pouvoir y habiter.



La mer de glace est vouée à disparaître.

Un trésor archéologique englouti

Grotte ornée paléolithique située au large de Marseille, la grotte Cosquer fut découverte par le plongeur Henri Cosquer en 1985 et classée monument historique en 1991. Elle comprend 500 œuvres d'art pariétal datant de -33 000 et de -19 000 ans : représentations de chevaux, bisons et aurochs, mais aussi des représentations uniques d'animaux marins tels que des pingouins, des phoques et des méduses, des représentations humaines rares et 65 extraordinaires empreintes de mains.

Du fait de la montée des océans depuis la fin de la dernière glaciation, la grotte a été engloutie et son entrée est désormais à 37 mètres de profondeur. Aucune grotte ornée n'avait jusqu'à aujourd'hui été découverte au-dessous du niveau de la mer. La grotte Cosquer est donc un témoin du réchauffement climatique. Grâce à ce vestige, nous comprenons aisément la grandeur du phénomène de montée des mers qui s'est déroulé. Mais les peintures de la grotte sont condamnées à disparaître sous l'effet de la remontée actuelle des eaux.

Après deux ans et demi de travaux, menés notamment par des équipes ayant contribué à la réalisation de la grotte Chauvet 2 – Ardèche, une réplique de la grotte Cosquer ouvrira dès cette année à la Villa Méditerranée, à Marseille, à côté du MUCEM. Elle permettra aux visiteurs d'admirer ce trésor archéologique englouti et de prendre conscience de l'impact du phénomène de la montée des eaux.

©Kléber Rossillon



Les peintures exceptionnelles de la grotte Cosquer sont déjà partiellement englouties.

Qu'a fait l'homme lors des changements climatiques précédents ?

À la fin de la période glaciaire, l'homme a dû s'adapter à la montée du niveau marin mais surtout aux évolutions du climat. Et, en la matière, Homo sapiens fut particulièrement doué...

Nous sommes la seule espèce ayant réussi à coloniser presque tous les milieux habitables, nous adaptant à des milieux très différents et même extrêmes. *« Il faut cependant faire la part entre ce qui relève de contraintes physiques, environnementales, et la capacité des hommes à s'adapter, techniquement, biologiquement mais aussi culturellement »* rappelle Jean-Jacques Hublin, Professeur et directeur du Département d'Évolution Humaine à l'Institut Max Planck d'Anthropologie Evolutionnaire à Leipzig (Allemagne) et Professeur au Collège de France. Ce sont ces aptitudes culturelles qui auraient permis notre survie. *« L'atout d'Homo sapiens réside dans sa capacité à créer des réseaux de solidarité, familiaux au départ et planétaires aujourd'hui : c'est ce qui le distingue de toutes les espèces d'hommes antérieures. »* Contre 5 ou 6 espèces humaines qui peuplaient la Terre il y a 2 à 300 000 ans, avec des formes très différentes (tel le petit homme de Florès en Indonésie présent encore sur Terre il y a 50 000 ans), il ne reste plus qu'Homo sapiens.

Notre espèce est sortie d'Afrique, envahissant le territoire d'autres espèces (Néandertal en Eurasie, Dénisovien en Asie, Florès en Indonésie...) et colonisant même des zones de la planète où il n'y avait jamais eu d'Hominines (Australie, Amériques). Et cela s'inscrit dans le cadre d'une grande instabilité du climat : *« on a évolué de climats relativement chauds (avec un taux de gaz carbonique dans l'atmosphère pas très loin des 400 ppm que l'on craint tant aujourd'hui) avec des forêts denses tropicales en Europe et des éléphants »*, pour aller vers un refroidissement global depuis 7 millions d'années avec des alternances de périodes glaciaires et de déglaciation, notamment sur les derniers 100 000 ans.



La Provence, selon les époques, a connu des pingouins ou des éléphants.

La Terre a toujours connu une alternance de périodes glaciaires et de périodes tempérées (voire plus chaudes qu'aujourd'hui) dans les moyennes latitudes. C'est ainsi que les Iles Britanniques sont reliées au continent en période glaciaire et que la Manche se remplit d'eau en période interglaciaire. Au niveau des populations, l'influence de ces changements est grand. *« On sait par exemple que les Iles Britanniques furent désertées par les hommes au cours du dernier âge interglaciaire car la remontée des eaux fut si rapide que le repeuplement à partir du sud à la suite d'une phase froide n'a pas pu se faire. Donc il y a des espèces de mammifères, dont les hommes, qui manquent pendant des dizaines de milliers d'années sur ces îles. »* De vastes territoires sont abandonnés en période glaciaire, tandis que ceux qui sont peuplés le sont faiblement, et cela a une influence sur l'évolution biologique des hommes. On observe notamment une très faible variabilité génétique qui entraîne des modifications anatomiques.

> ***« Le climat a bien sûr une influence directe sur la population humaine, celle-ci devant s'adapter biologiquement, techniquement, mais aussi culturellement. »***
>
> **Jean-Jacques Hublin,**
> Professeur et directeur du Département d'Évolution Humaine à l'Institut Max Planck.

Homo sapiens aurait quitté l'Afrique à cause du climat

Dans les zones tropicales (d'où vient notre espèce), les cycles climatiques diffèrent un peu. *« On sait que, lors des périodes glaciaires, il y a une montée de l'aridité en Afrique. »* Mais de temps en temps naissent des épisodes de Sahara vert et d'Arabie verte, pendant lesquels la ligne de la mousson remonte jusqu'au Maghreb. Le Sahara se couvre alors de savanes, de rivières et de lacs, avec une faune de grands mammifères. *« On pense que ces phénomènes ont joué un rôle très important dans la sortie d'Afrique de notre espèce. »*

En effet, lorsque le Sahara n'était pas vert, les chasseurs-cueilleurs habitués à la savane partaient vers le nord (Arabie, Proche-Orient...), remplaçant les populations locales. *« L'étude des génomes nous montre que ces sorties d'Afrique seraient très anciennes. »*

En Israël, les traces les plus anciennes d'Homo sapiens moderne datent de 100 à 200 000 ans. En Europe orientale, c'est plus récent. On en trouve notamment en Bulgarie, sur le site de Bacho Kiro (fouillé par les équipes de Jean-Jacques Hublin), regroupant de l'outillage très varié du paléolithique supérieur initial qui vient remplacer celui du paléolithique moyen, ainsi que des restes humains datant de 46 à 43 000 ans. Même chose en République tchèque (environ -48 000 ans). Ces Homo sapiens ont-ils eu des contacts rapprochés avec les populations locales ? Les études ADN montrent que les 5 individus découverts à Bacho Kiro ont eu au moins un ancêtre néandertalien entre 5 et 10 générations avant l'époque où ils ont vécu, tandis qu'un individu retrouvé en République tchèque a de l'ADN néandertalien hérité de ses ancêtres du Proche-Orient et n'aurait pas eu de contact sur place avec des néandertaliens. *« On a l'impression de groupes pionniers qui se perdent dans le monde néandertalien avec des destinées très différentes d'un groupe à l'autre, parfois avec des contacts et parfois non. »* Mais les études paléogénétiques montrent que ces groupes du paléolithique supérieur ont été remplacés en Europe par d'autres Homo sapiens arrivés après : on ne retrouve en effet leurs lignées qu'en Extrême-Orient ou en Amérique.

Mais pourquoi Homo sapiens est-il allé si loin au nord ? Une étude sur la reconstruction paléolithique des températures, à partir des isotopes de l'oxygène présents dans des dents de chevaux et de grands bovidés (qui poussent en permanence) tués par des chasseurs du paléolithique, permet d'obtenir la température précise à l'époque où vivaient ces hommes. Elle montre qu'à Bacho Kiro, les températures moyennes avoisinaient les 0°C, avec des températures d'hiver et d'été bien plus froides qu'aujourd'hui dans les Balkans. *« Ce n'est donc pas un réchauffement climatique qui a amené Homo sapiens vers les plus hautes latitudes, mais plutôt sa capacité à s'adapter à des environnements différents, à créer des réseaux. »* Par exemple le site bulgare est le plus ancien où des objets de parure élaborés ont été découverts. *« On sait aujourd'hui que ce sont des marqueurs du statut social, de l'identité des groupes les uns par rapport aux autres : un trait propre aux Homo sapiens modernes. »*

Avant de quitter l'Afrique, les hommes avaient déjà développé ces comportements car de nombreux objets de parure ont été retrouvés sur divers sites africains, notamment au Maroc. Dans ce monde de complexité sociale, d'identité culturelle et de réseaux se développe l'art rupestre. On y observe des témoignages de récits, de croyances, de mythes (beaucoup d'êtres humains à têtes



Grâce à leurs capacités à s'adapter, les hommes ont survécu et se sont étendus géographiquement.

d'animaux, comme l'homme à la tête de lion d'Hohlenstein en Allemagne) qui rend les hommes solidaires, assure la cohésion du groupe. *« Croire en des choses qui n'existent pas réunit un réseau, tout comme la langue, la religion, etc. Les peintures de la grotte Cosquer s'inscrivent dans le développement de cette capacité culturelle. »*

À la même époque qu'en Europe, cet art rupestre se développe en Indonésie, avec par exemple des hommes à têtes et à queues d'animaux de plus de 43 000 ans dans les Célèbes. Les mêmes traces se retrouvent donc aux deux extrémités de l'ancien monde ! Ces croyances et comportements devaient par conséquent pré-exister à l'expansion d'Homo sapiens dans toute l'Eurasie.

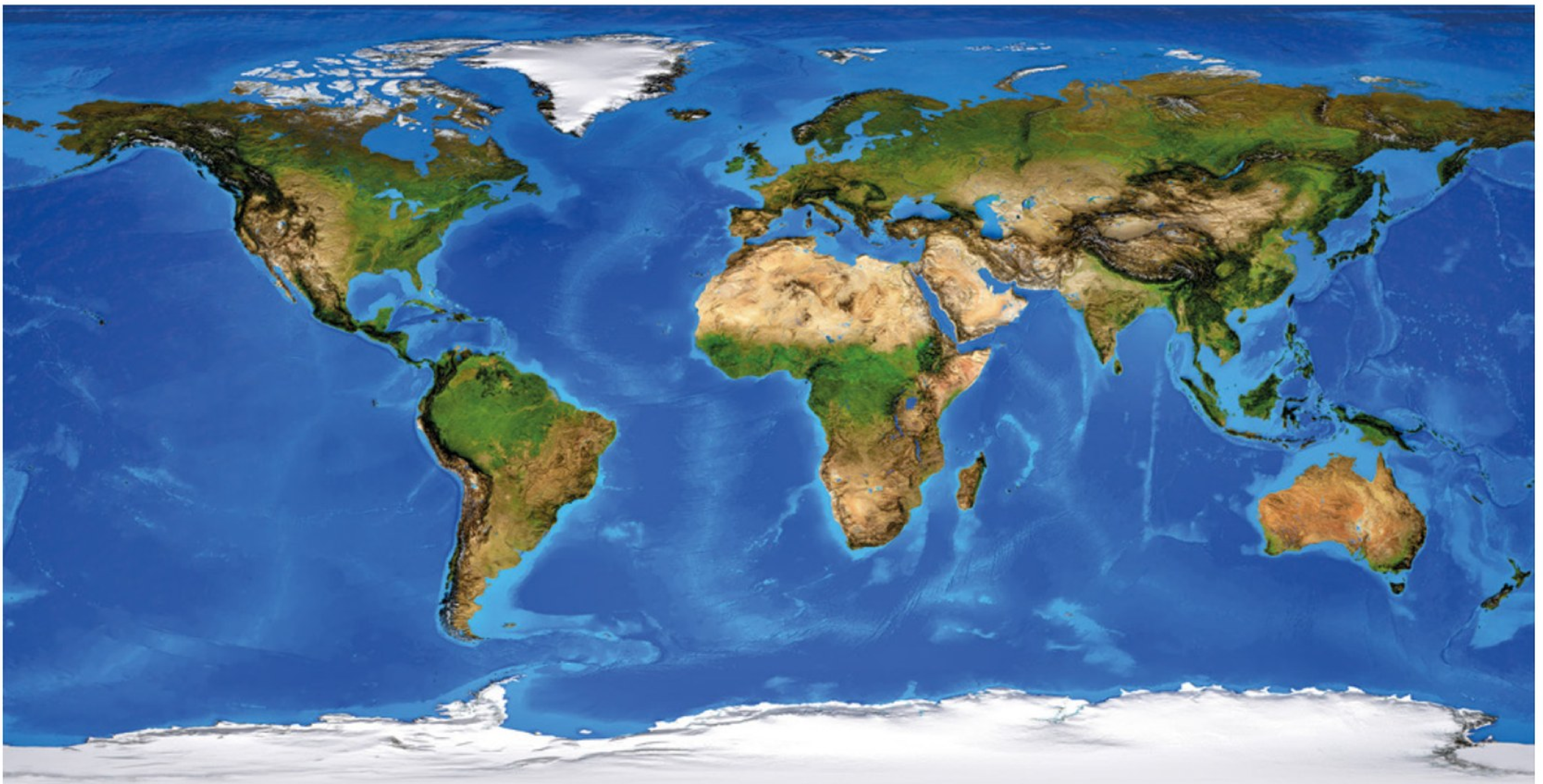
Donc les Hominines et leur évolution ont été très conditionnés par les évolutions du climat, de la géographie et du niveau marin, mais ils ont su se libérer progressivement de ces contraintes environnementales par leurs capacités à s'adapter, à développer une complexité technique, sociale et culturelle. Saurons-nous nous adapter tout aussi bien ?

Pouvait-on aller à pied en Amérique et en Australie ?

Malgré toutes les fluctuations du niveau marin, une zone a toujours été séparée du continent asiatique par une étendue océanique : on l'appelle la Wallacea et elle correspond en partie à l'Australie et à la Nouvelle-Guinée. Comment les hommes l'ont-ils colonisée ? Autour de 65 000 ans, le niveau marin était au plus bas et beaucoup d'hypothèses supposent que les hommes auraient traversé à cette période. Mais, dans tous les cas de figure, *« il y a forcément eu une navigation d'île en île et les hommes devaient maîtriser la navigation »* estime J-J.Hublin.

Et vers les Amériques, la fluctuation du niveau marin explique-t-elle leur passage ? Il y a 30 000 ans, des hommes vivaient déjà en Sibérie dans un milieu probablement très froid. J-J. Hublin pense que, même en cas de remontée du niveau marin, ces hommes auraient probablement été capables de traverser jusqu'au continent américain. Une fois arrivés, ils ont été longtemps bloqués en Alaska et au Yukon (des sites datent de 25 000 ans) à cause des glaciers (3 km de glace au-dessus de Montréal, 1,5 km au-dessus de Boston). Et, à la fin du dernier cycle glaciaire, ils ont pu se répandre vers le sud, le long de la côte tout d'abord.

L'archéologue préhistorien Michel Philippe (chercheur associé à l'UMR 7324



L'élévation ne sera pas la même partout sur la planète.

CITERES-LAT) explique combien il est difficile d'être renseigné sur les premières navigations. D'autant que l'art préhistorique n'étant pas une représentation de la vie quotidienne, on n'observe aucune représentation de bateaux. Mais l'existence de chasseurs-cueilleurs nomades côtiers est avérée. Et au bord d'un lac ou d'une mer, *« il ne peut pas ne pas y avoir d'attirance pour la côte située en face »* estime le chercheur. Pour traverser le détroit du Pas-de-Calais par exemple, les hommes connaissaient leurs capacités, maîtrisaient leurs techniques, savaient utiliser les courants et savaient où ils allaient sur les routes maritimes traditionnelles.

Datant de dizaines de milliers d'années après les traces des débuts de la navigation, des traces de « ports » sommaires extrêmement ténues et d'échouages ont été retrouvées. Quant aux épaves de la Préhistoire, elles ont forcément disparu, sauf celles en bois massif *(« c'est pour cela que la pirogue est le bateau le plus fréquemment cité pour la Préhistoire »)*. Les embarcations composites ne sont pas reconnues sur un site car il n'en reste que des fagots et des arceaux. Les traces de pêche pélagique ne sont pas concluantes car il peut y avoir un piégeage à partir de la plage. Et, suite à la déglaciation, des milliers de kilomètres de littoral sont sous les eaux et quasiment toutes les installations préhistoriques sur ces côtes sont perdues. Restent donc des indices indirects...

L'homme de Florès, par exemple, prouve que des Homo archaïques se sont installés sur une île, il y a 700 000 ans. *« Mais c'était une navigation sans retour puisqu'il y a eu une dérive génétique : en effet, ces hommes ont évolué de leur côté sans échange avec ceux qui sont restés sur le continent asiatique »* note M.Philippe. Les hypothèses de navigation coutumière de ces Homo archaïques, faites en Asie du Sud-Est et en Méditerranée, estiment que toutes ces navigations se sont effectuées au maximum sur 30 à 50 km de bras de mer.

Il faut attendre le peuplement de l'Australie, vers -50 000 ans, pour que les hommes naviguent sur plus de 100 km, donc sans voir la côte en face. Ils sont partis sans savoir où ils allaient et, une fois installés, ils ont établi des routes maritimes pérennes (en se repérant avec les étoiles, les oiseaux, la couleur de l'eau qui change près du plateau continental ?). En Méditerranée, les bras de mer entre les îles ne dépassaient pas les 30 km, ce qui a permis entre autres le peuplement de Chypre.

Vers -35 000 ans, on retrouve également des indices de navigation coutumière dans l'arc Pacifique Ouest où les milliers d'îles de l'archipel japonais ont été progressivement occupées avec des échanges entre elles. Sur le continent américain, vers -16 000 ans, on peut imaginer aussi une colonisation maritime. Mais ce ne sont que des hypothèses...

Michel Philippe explique que les dates sont plus tardives en Europe : le fleuve Manche fut certainement le plus grand fleuve de ce continent, avec un immense delta au large de la Bretagne, mais toutes les terres autour ont été englouties. Des indices de navigation coutumière ont été retrouvés au nord.

En Norvège, les premiers indices de ces chasseurs-cueilleurs nomades maritimes ont été mis au jour, avec des installations extrêmement nombreuses mais fugaces : le paysage de fjords facilitait les déplacements en bateau plutôt qu'à pied.

En Méditerranée, les preuves résident dans la diffusion de l'obsidienne à partir des îles de la mer Égée (vers -9000 av. J.-C.), et la colonisation de Chypre avec plusieurs vagues d'introduction d'animaux. Les indices ? Des petits rongeurs arrivés cachés dans les cales n'ont pas eu le temps d'avoir de dérive génétique : or s'ils avaient été seuls sur l'île, cette dérive aurait été très rapide.

Enfin dans l'Atlantique, Guernesey, Ouessant, Belle-Île, etc. deviennent des îles il y a 8 000 ans et le matériel y évolue au même rythme que le matériel continental, preuve d'une navigation côtière évidente. De nombreux indices prouvent ensuite une navigation de plusieurs jours au Néolithique vers les Iles Britanniques : une grande traversée...

Le réchauffement climatique, principal responsable

La montée des eaux à laquelle nous sommes aujourd'hui confrontés n'a rien à voir avec celle qui suit une glaciation. Elle est extrêmement rapide. Selon les différents scénarios du GIEC, la situation sera plus ou moins catastrophique d'ici la fin du siècle. Mais l'homme en est-il responsable ? La réponse ne fait aujourd'hui plus beaucoup de doutes. La hausse actuelle du niveau des mers est une des conséquences du changement climatique actuel, lequel changement est lié aux émissions de gaz à effet de serre.

Anny Cazenave, chercheur au Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales, (Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse) rappelle que, sur des échelles de temps longues, la Terre devrait être en équilibre énergétique, soit envoyer vers l'espace autant d'énergie qu'elle en reçoit du Soleil. Or, depuis quelques décennies, ce n'est pas le cas. *« On observe que la Terre renvoie moins d'énergie vers l'espace qu'elle n'en reçoit. Elle est donc en déséquilibre énergétique et elle accumule de la chaleur. »* Et cela entraîne un certain nombre de conséquences.

La cause de ce déséquilibre énergétique est bien connue aujourd'hui : c'est l'accumulation



Le zéro émission sur la planète pour 2050 est bien improbable.

de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, principalement le dioxyde de carbone, liée aux activités humaines (combustibles fossiles, déforestation...). Cette accumulation piège le rayonnement infrarouge que la Terre émet vers l'espace.

De 1990 à 2019, l'augmentation a été de 60%. *« Heureusement pour nous, tout le CO_2 ne reste pas dans l'atmosphère : uniquement 44% des émissions anthropiques. »*

Ceci grâce à deux puits de carbone : d'une part la végétation terrestre qui absorbe à peu près 30% du CO_2, et d'autre part l'océan qui en absorbe de l'ordre de 25%. *« Mais avec un prix à payer puisque l'océan devient de plus en plus acide, avec des conséquences néfastes pour les écosystèmes marins. »*

Plus de 90% de la chaleur excédentaire, accumulée depuis des décennies suite au réchauffement anthropique, est stockée dans l'océan : l'océan se réchauffe donc et c'est une des causes de la montée du niveau des mers. Seulement 2% réchauffent les continents, 2% font fondre les glaces, et 2% réchauffent l'atmosphère (causant une élévation de la température moyenne à la surface de la Terre). Depuis 1850, cette augmentation de température a été de +1,2%, avec une croissance très nette surtout depuis le milieu des années 70. Les 10 dernières années ont été les plus chaudes jamais enregistrées. Rappelons que l'Accord de Paris sur le climat de 2015 prévoyait que nous ne devrions pas dépasser +1,5°C pour rester dans un climat vivable pour la biosphère, y compris les humains. Ce qui semble aujourd'hui bien difficile...

Ce réchauffement n'est pas homogène à la surface de la Terre : même si les océans stockent (en partie dans leurs profondeurs) 90% de la chaleur, *« les continents se réchauffent plus que les océans et l'hémisphère nord, en particulier la région arctique, se réchauffe beaucoup plus que le reste de la planète. »* Les glaces fondent : les glaciers de montagne, l'Antarctique et le Groenland. Si tout le Groenland fondait, la mer s'élèverait de +7 mètres, tandis que la partie instable de l'Antarctique de l'Ouest ferait s'élever les océans de +5 mètres.

Rappelons qu'au cours des derniers 1000 ans, l'élévation du niveau marin n'a jamais dépassé 0,6 mm/an. Mais on constate une augmentation plus forte depuis le début du 20e siècle.



Les îles basses, les deltas... seront les premiers engloutis.

Les côtes vont-elles devenir inhabitables ?

La montée des eaux ne dépend pas que de l'élévation du niveau marin. Les choses sont plus complexes, de nombreux autres facteurs agissent sur le niveau de la mer. Virginie Duvat, professeure de géographie à l'Université de la Rochelle et spécialiste des systèmes côtiers tropicaux, a participé aux 5e et 6e rapports du GIEC. Elle expose les différentes composantes du risque.

Tout d'abord les aléas représentent la première composante du risque. Ce sont les marées de tempête, les variations saisonnières, l'augmentation du débit des cours d'eau qui se déchargent dans la mer, les mouvements verticaux du sol, les perturbations anthropologiques locales, etc. On s'attend à une intensification des tempêtes (des cyclones tropicaux de catégorie 4 et 5, soit les plus extrêmes), et également des phénomènes pluvieux extrêmes qui chargent les fleuves et donc les mers. Les perturbations locales dues aux activités humaines augmentent toujours. La dégradation des écosystèmes est à la fois due aux activités humaines et au changement de climat. *« Par exemple, la modification de l'hydrodynamique locale entraîne la dégradation des écosystèmes côtiers amortisseurs de houle : coraux, mangroves... »*
Tous ces aléas se traduiront par la submersion marine et l'érosion côtière, d'où une salinisation des sols et des nappes d'eau souterraines. Les conséquences seront la perte des franges terrestres, des décès, etc. On a pu le voir en France lors de la tempête Xynthia en 2010.
La deuxième composante du risque est le degré d'exposition des habitations, des activités socio-économiques, aussi des écosystèmes. *« Aujourd'hui, 1 milliard de personnes vit dans des régions côtières exposées. »* Et l'urbanisation va croissant en bord de mer.

Enfin le troisième facteur à prendre en compte est la vulnérabilité, et donc la capacité à évoluer pour réduire les impacts. En France, les territoires les plus vulnérables sont bas, entourés d'eau, urbanisés par des constructions d'habitation de plain-pied. Des habitations sont construites derrière des systèmes de défense sous dimensionnés.

Des solutions pour se protéger



Tout le monde n'est pas prêt à construire sur pilotis...

Que peut-on faire pour réduire les risques côtiers ? Agir sur les trois composantes. Au niveau de l'aléa, il faut favoriser le développement d'écosystèmes ayant des capacités à capter les sédiments et ainsi gagner en altitude. Pour ce qui est de l'exposition, il s'agit de construire des ouvrages résistants pour empêcher la submersion marine ou relocaliser le bâti et les activités dans l'intérieur des terres. Et enfin, pour réduire la vulnérabilité, il faudrait construire des maisons sur pilotis ou à étage.

« Il existe donc un niveau de risque sans adaptation et avec adaptation ; si celle-ci est insuffisante face aux enjeux actuels, elle réduit cependant le risque » souligne Virginie Duvat. Toutefois, il y a des limites de différentes natures à l'adaptation (politiques, socio-culturelles...) : les populations ne sont pas forcément disposées à se déplacer ou à vivre sur pilotis ! Quelles sont alors les solutions ? *« On peut bien sûr laisser faire, mais pas quand il y a des enjeux humains. »*

Comme mentionné ci-dessus, les solutions sont variées. On peut opter pour l'accommodation, c'est-à-dire rester sur place en s'adaptant et se protégeant (par exemple élever le bâti comme en Polynésie). On peut construire des digues, plus hautes et plus efficaces que celles de Louisiane qui n'ont pas tenu lors de l'ouragan Katrina en 2005, choisir la contre-attaque comme le font les Maldives avec des digues, un plan d'alerte précoce, une politique de gestion des zones côtières, etc. La relocalisation est une autre possibilité, mise en oeuvre notamment sur la côte Atlantique suite à la tempête Xynthia. Enfin il y a les solutions fondées sur la nature, comme la création d'écosystèmes pour l'amortissement des vagues et la protection par les sédiments, voire la construction de récifs artificiels : une gestion plus durable très regardée en milieu tropical. Cependant, il n'existe pas les mêmes niveaux de risques pour toutes les îles du Pacifique. La protection des récifs coralliens peut être efficace mais à un moment donné, vers 2040-50, ils seront en déclin. Il vaut donc mieux adopter la contre-attaque en édifiant des îles artificielles pour accueillir les populations.

« Il va falloir aller vers la combinaison de solutions, mais on a aujourd'hui très peu de retours d'expérience. » Des ouvrages durs peuvent supprimer les plages, des projets de relocalisation ont été difficiles, notamment leur acceptabilité sociale, leur gouvernabilité par les territoires, etc.

Oui, les espaces côtiers insulaires sont menacés dans une certaine mesure et l'incertitude est grande, notamment sur le plan humain. Mais on peut déployer des stratégies d'adaptation : *« on est entré dans l'ère de solutions. »*

MAGAZINES, JOURNAUX, CARNETS, ENVELOPPES...

LES INFORMATIONS CLÉS SUR LE PAPIER

Créé il y a plus de 2 200 ans, le support papier fait partie de notre quotidien. Pourtant il n'est pas certain qu'on le connaisse si bien. Voici 5 informations clés à savoir sur le papier.

1. ON NE DÉTRUIT PAS LES FORÊTS POUR FABRIQUER DU PAPIER

En France, on utilise majoritairement des chutes de production de scieries ou des déchets de bois issus de l'entretien des forêts dont la gestion durable préserve notamment la biodiversité.



2. LES PAPIERS SONT DE PLUS EN PLUS ÉCOLOGIQUES

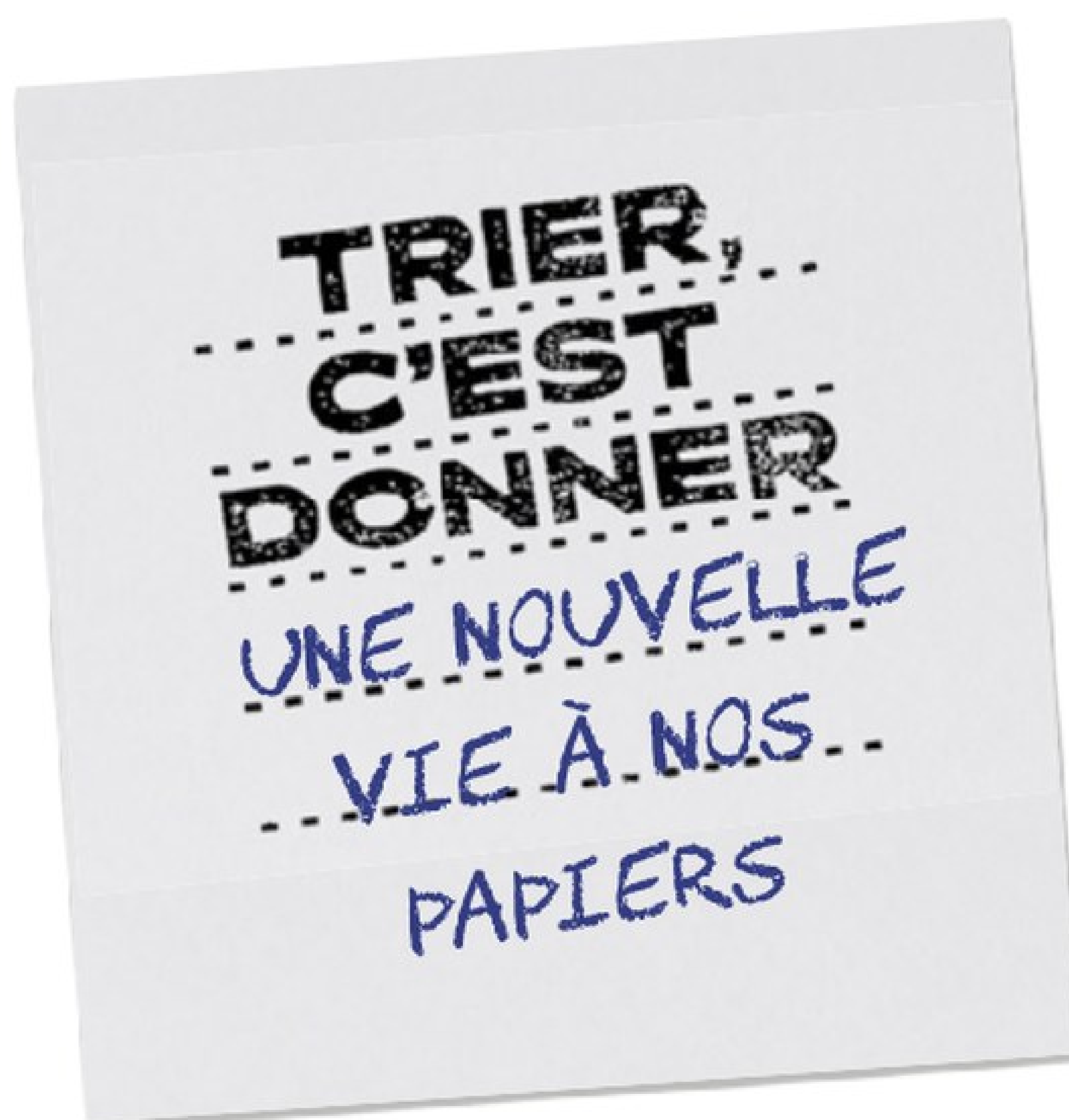
Les entreprises innovent pour réduire l'impact des papiers sur l'environnement. Par exemple, en utilisant des encres et des colles qui s'éliminent facilement lors du recyclage.



3. LE PAPIER RECYCLÉ EST DE BONNE QUALITÉ

Grâce aux progrès réalisés, on peut aujourd'hui acheter des produits d'écriture à usage courant de qualité : blocs-notes, carnets, cahiers, ramettes de papier... On peut même avoir des feuilles blanches ou encore avec des textures brillantes.





4. LES MULTIPLES DÉBOUCHÉS DU PAPIER RECYCLÉ

La pâte à papier recyclée peut servir aussi dans la fabrication de produits d'hygiène (essuie-tout, papier-toilette,...), d'emballages et même de produits isolants pour les habitations.



5. TOUS LES PAPIERS SE RECYCLENT

Journaux, papiers brouillon, magazines, catalogues, cahiers à spirale, enveloppes à fenêtre, prospectus... et pour cela, Il suffit de les trier.



CITEO

©Citeo/Fabrice Cateloy

OSONS LA MER

Une révolution maritime pour faire de la France la première puissance économique mondiale

Après une double formation d'économiste et d'historien, Christian Buchet, a été professeur d'économie, puis directeur scientifique du programme *Océanides*, la plus grande étude historique mondiale jamais réalisée sur la mer. Membre de l'Académie de marine et ancien secrétaire général du *Grenelle de la mer*, il dirige le Centre d'études et de recherche sur la mer de l'Institut catholique de Paris.

Christian Buchet : « La mer est la grande chance de la France ! »

Et si la mer était l'atout numéro un de la France pour gagner en compétitivité ? Et si nous utilisions enfin les potentialités insoupçonnées de nos côtes et de notre surface maritime qui font de notre pays le 2e domaine maritime du monde ? Réponses avec l'expert français de la mer, Christian Buchet.

Qu'est-ce qui vous a conduit à devenir l'un des plus grands experts français des questions maritimes ?

Christian Buchet : J'ai une double formation d'économiste et d'historien. Ce qui est très intéressant par l'histoire, c'est de placer l'économie ou la réflexion économique et géopolitique dans la longue durée. Cette forme d'analyse m'a toujours fasciné. J'ai par ailleurs toujours été passionné par la mer, même si je n'ai pas de marins dans ma famille et ne suis pas Breton. J'ai eu plusieurs grandes aventures dans ma vie. J'ai d'abord publié des ouvrages sur la mer qui ont fait de moi l'interlocuteur des médias sur les sujets maritimes. De fil en aiguille, on m'a confié une chronique éditoriale sur le développement durable sur Europe 1, qui a ensuite donné l'idée à Jean-Louis Borloo de me confier le secrétariat général du *Grenelle de la Mer*. Puis, j'ai eu la chance de conduire le programme *Océanides*, doté de fonds conséquents, devenu le premier programme international de sciences humaines, rassemblant 264 chercheurs (30 % de Français) et publié en 4 volumes sur 3 800 pages.

Vous dites qu'avec ce programme, vous êtes arrivés avec les chercheurs à une triple conclusion. Expliquez-nous.

C.B. : Premièrement, la mer, c'est ce qui fait la différence dans l'histoire des peuples. Quand l'Inde par exemple a décidé de se tourner vers la mer, c'est à ce moment-là qu'elle a commencé à émerger. Nous avons pu prouver que, de tout temps, le fait de se tourner vers la mer créait les conditions du succès. Deuxièmement, ça a fondé les bases de toute la géopolitique internationale. On a compris que c'était celui qui tenait la maîtrise des flux dans l'Océan indien qui tenait le monde. Et troisièmement, on a démontré que la mer était la clé de l'histoire, parce qu'elle faisait les mouvements de balancier de l'histoire. On en a conclu qu'il y avait deux temps derrière nous : « le temps des Méditerranées » qui couvre la période antique et médiévale et « *le temps de l'Atlantique* » qui change absolument tout et qui a perduré jusqu'à aujourd'hui. Nous entrons dorénavant dans un 3e temps de l'histoire qui est « *le temps de l'Océan mondial* », un temps riche d'opportunités. Rendez-vous compte, en 2025, c'est-à-dire demain matin, 75 % de la population mondiale va se trouver sur une bande littorale mondiale de 75 kms de large. Et en 2050, ce seront 80 % de la population mondiale qui se retrouvera concentrés sur cette même bande.

« Il est grand temps de changer de paradigme et de « faire entrer la mer à l'intérieur des terres », pour qu'elle devienne enfin le moteur de notre économie. »

Vous parlez d'une mer qui doit être vue désormais sous ses quatre dimensions. C'est-à-dire ?

C.B. : Oui, elle doit être vue en quatre dimensions. Première dimension, celle que tout le monde connaît à travers son histoire, celle d'une surface plane, celle du commerce et des combats maritimes. Mais c'est oublier que la mer a trois autres dimensions. Deuxième dimension, c'est la tranche d'eau, l'épaisseur de l'eau qui descend à plus de 11 kms. Troisième dimension, ce sont les terres immergées. 72 % des terres de la planète sont des terres immergées qu'on ne connaît au maximum qu'à 20 %, et dont on ne connaît pas plus de 3 % de la microbiologie marine. On voit donc maintenant que la mer a une quatrième dimension, puisque la biodiversité du sous-sol marin est différente de celle du sous-sol terrestre. La mer, c'est vraiment l'avenir, notre assurance-vie qui nous donne toutes les clés du futur et nous permet d'entrevoir un avenir désirable et durable, parce qu'on peut encore parfaitement concilier développement économique et développement durable. La mer nous ouvre de formidables perspectives, car elle pourra en partie compenser les ressources qui vont fatalement s'épuiser sur terre.

Vous venez de publier « ***Osons la mer*** **». Dans quel objectif ? Nous faire prendre conscience du potentiel maritime insuffisamment exploité, y compris en France?**

C.B. : La mer, c'est la grande chance de la France ! Et j'ai voulu démontrer avec ce livre qu'en tout temps et en tout lieu, le fait de se tourner vers la mer créait les conditions du succès. Jamais de toute son Histoire, la France n'a été aussi grande qu'elle ne l'est depuis… 1994, date de l'application des accords de Montego Bay qui confèrent à notre pays le deuxième domaine maritime du monde, tout juste derrière les Etats-Unis (le troisième, c'est l'Australie). La France est magnifiquement dotée, avec ses 20 000 km de côtes et ses 11 millions de km² de surface maritime, elle possède, grâce à l'outre-mer, le 2e domaine maritime du monde (à 96 % grâce à l'outre-mer), mais le 1er par sa qualité et sa diversité, car c'est le mieux ventilé sur l'ensemble de la planète. Tous les grands pays ont une stratégie maritime. Pas nous. Alors que la mer est cette « Nouvelle Frontière » dont la France a besoin pour gagner en mobilité et en compétitivité. Recouvrant près de 72 % de notre planète, la mer forme un univers à plusieurs dimensions qui recèle une biodiversité et des quantités de potentialités insoupçonnées. Comme en témoignent les leçons de l'histoire maritime mondiale, la mer est bien l'atout gagnant de la France et la grande chance de l'Europe : « *Qui tient la mer, tient la terre* ».

« Qui tient la mer, tient la terre. »

Comment expliquer que nos gouvernants n'aient pas encore pris conscience de ces opportunités et n'aient pas une grande stratégie maritime pour notre pays ?

C.B. : Pour répondre à cette question, il me faudrait des heures. Une phrase d'Eric Tabarly m'a beaucoup marqué quand j'étais ado et a peut-être été à l'origine de ma vocation : « *La mer pour les Français c'est ce qu'ils ont dans le dos quand ils regardent la plage* ». Comment se fait-il que notre pays ne soit pas tourné vers la mer ? Sûrement, parce que la mer n'est pas perçue comme telle en France. On n'est pas un pays maritime, alors que le commerce maritime c'est 92 % en volume du commerce mondial ! On ne l'enseigne pas, ni dans les écoles de

commerce (sauf une), ni à l'ENA. Résultat, nos gouvernants depuis des années ne mesurent pas le potentiel extraordinaire de notre domaine maritime.

Pourquoi dites-vous qu'il faut changer de paradigme ?

C.B. : J'affirme qu'il est grand temps de changer de paradigme et de «*faire entrer la mer à l'intérieur des terres*», et non l'inverse, pour qu'elle devienne enfin le moteur de notre économie. Tant que les villes de l'intérieur ne seront pas mieux reliées à leurs ports régionaux, ceux-ci n'auront pas au plan international le rang qui leur revient, donc ça ne fonctionnera pas ! Avant tout, contrairement à ce que l'on pourrait penser, une politique maritime, ce n'est pas une politique de la pêche, ça doit être une politique d'aménagement du territoire. Qu'est-ce qui permet à la fois de redonner de la compétitivité à nos entreprises, de lutter contre les émissions de CO_2, de lutter contre la désertification, voire même de lutter contre l'accidentologie routière ? Et bien, c'est une politique maritime. Il faut aujourd'hui désenclaver l'intérieur des terres par plus de voies routière, ferroviaires, fluviales pour les relier à nos ports régionaux. Et quand ça sera fait, nos deux grands ports du Havre et de Marseille marcheront. Il y a urgence ! Si dans les dix ans, on ne désenclave pas Marseille, ce sera tout le quart sud-est de la France qui sera plombé au profit de l'Italie. Il y a un enjeu très conséquent, c'est pour cela que je tire un signal d'alarme. En mettant tout notre savoir-faire scientifique et technologique au service de notre domaine maritime qui est exceptionnel, la France pourrait se hisser au rang de première puissance économique mondiale et conférer à l'Union européenne un rayonnement nouveau.

Vous affirmez que l'Europe démocratique sera maritime ou ne le sera pas. Pourquoi ?

C.B. : Force est de constater et c'est terrible, que seuls les états autoritaires où l'on est président à vie ou presque, ont une stratégie de moyen terme. Les démocraties restent quant à elles enlisées dans le court terme. Car faire ces grands travaux, engager cette politique d'aménagement du territoire, ce sont des sous qu'on ne mettra pas dans des revendications de satisfactions immédiates des Français. Mais quand on rentre dans un nouveau temps de l'histoire, comme je vous l'ai expliqué, c'est le moment de faire son jeu. Notre Europe démocratique sera maritime ou ne sera pas. Et c'est bien là une question de volonté politique, il faut que le président de la République s'empare de ce sujet après les élections d'avril et qu'il en fasse sa priorité et une grande cause nationale. Il ne faut pas laisser aux États autoritaires le monopole des visions de long terme. Et puis, il faut en être convaincu, la mer, c'est aussi une question d'éducation, dès l'école. Il faut «maritimiser» les esprits. C'est pour cela qu'il faut oser la mer et amorcer une vraie révolution dans notre archipel français !

La solution ne devrait-elle pas venir de nos entreprises, voire des créateurs d'entreprises qui peuvent trouver avec la mer de formidables opportunités d'innovation ?

C.B. : Vous avez entièrement raison. C'est ce vers quoi il faut aller. Et je ne cesse de dire aux entrepreneurs lorsque je les rencontre que leur métier a du sens. Ce sont eux qui font la France d'aujourd'hui et de demain, ce sont eux qui iront là où les gouvernants n'iront pas, ou alors là ou l'Etat ira quand les entrepreneurs seront suffisamment nombreux à s'être lancés. J'invite toutes les entreprises, toutes les startups, à se lancer sur une véritable économie de la mer. Je le répète, la mer, c'est la grande chance de la France, c'est notre atout gagnant ! ■

Propos recueillis par Valérie Loctin.

«*Osons la mer*» de Christian Buchet, Le Cherche Midi, 176 p., 15 €.

OSONS LA MER, le livre événement de Christian Buchet

Une révolution maritime pour faire de la France la première puissance économique mondiale

Le constat repose sur deux fondements irréfutables : les travaux du programme international de recherche Océanides qui a réuni durant cinq années 264 chercheurs issus de 40 pays, ce qui en fait l'un des plus importants programmes de recherche en sciences humaines au monde, durant lequel les chercheurs ont évalué le rôle de la mer et des flux dans l'histoire de l'humanité ; et le fait que jamais de toute notre Histoire, même au plus haut de la période napoléonienne, la France n'a été aussi grande qu'elle l'est depuis 1994. Ce n'est pas peu dire que nous sommes bien nés ! *Océanides* : 3 800 pages de conclusions nous montrent, démontrent, qu'en tout temps et en tous lieux, se tourner vers la mer est le moteur le plus puissant qui soit pour orienter les trajectoires historiques dans une direction positive. C'est que la mer est un atout majeur au service de la prédominance et du rayonnement, un accélérateur du développement économique et politique. Vue depuis la mer, comme nous le montrerons en reprenant les travaux d'Océanides que nous avons pilotés, l'Histoire devient intelligible, pleine d'enseignements et simple à retenir.

1994 : une date à encadrer.

Cette date, l'une des plus grandes dates de l'Histoire de notre pays. Elle correspond à l'entrée en vigueur du nouveau droit de la mer signé en 1982, sous l'égide de l'ONU à Montego Bay, à la Jamaïque. Ce droit crée ce que l'on appelle dans le jargon juridique des ZEE, des Zones économiques exclusives. Tout pays bordier de l'océan dispose, en plus de ses eaux territoriales qui s'étendent jusqu'à 12 milles marins, douze fois 1 852 mètres, soit plus de 22 kilomètres, d'une bande de 200 milles marins – 370 kilomètres – dont il est, en surface, comme dans ses fonds, pleinement souverain sur le plan économique. Il est même possible d'aller jusqu'à 350 milles marins si on peut prouver que le plateau continental se prolonge au-delà des 200 milles… Cela fait de la France le deuxième domaine maritime du monde, tout juste derrière les États-Unis et loin devant le troisième, l'Australie, qui compte 3 millions de km^2 supplémentaires. Il convient de préciser que notre ZEE est infiniment mieux répartie du point de vue géographique que celles des États-Unis et de l'Australie. La mer est l'atout majeur de la France, et notre pays, la grande chance de l'Europe pour contribuer largement à faire de celle-ci l'ensemble politique qui

bénéficie du plus grand linéaire de côtes et du plus grand domaine maritime au monde. C'est que la mer ne doit pas seulement être vue comme une surface bleue recouvrant près de 72 % de notre planète, mais comme le seul univers à quatre dimensions : la surface bien sûr, mais aussi la colonne d'eau, ses terres immergées, et nous sommes en train de découvrir que la biodiversité du sous-sol terrestre marin est bien différente de celle du sous-sol terrestre terrestre. Encore ne connaissons nous approximativement que 20 % du fond des mers et pas plus de 3 % de la microbiologie marine, un univers dont nous sommes pourtant issus et qui ouvre de formidables perspectives sur le plan de la santé. N'oublions jamais les trois autres dimensions complémentaires de la surface, pleines de promesses. Un seul exemple, celui des terres rares, ces 17 métaux stratégiques indispensables à la technologie de pointe, que la Chine fournit aujourd'hui à près de 82 % et dont elle entend baisser progressivement ses exportations, montre tout ce que la mer peut apporter à notre pays qui, fort de certains spots marins en Polynésie, se trouve détenteur de 18 % des réserves mondiales de ces précieuses ressources, et qu'en l'état actuel des choses, seuls deux pays disposent des entreprises et du savoir-faire technique nécessaires pour les extraire, avec les précautions environnementales qui s'imposent, à quelques deux kilomètres de profondeur : la France et les États-Unis…

Remettre notre économie en marche à partir du bon fonctionnement de nos ports.

Une politique maritime est avant tout une politique d'aménagement du territoire ; ce dont nous n'avons pas toujours conscience. Sait-on suffisamment que près de deux conteneurs sur trois qui entrent ou sortent de notre pays passent par Anvers, Hambourg et Rotterdam ? Sait-on suffisamment qu'un conteneur sur deux qui entre ou sort de la région PACA procède de ces ports du Nord ? Ce qui fait, à tout bien considérer, de l'Alsace-Lorraine la région la mieux reliée à la maritimité des flux…

Le Havre : exemple éclairant.

Il y a une vingtaine d'années, sa desserte par voie fluviale représentait environ 25 % ; elle n'est plus aujourd'hui que de 15 %. La desserte ferroviaire représentait environ 20 % ; elle n'est plus aujourd'hui que de 4 % ! En 1936, il fallait une heure et quarante minutes pour aller du Havre à Paris, il faut aujourd'hui compter plus de deux heures. Et, si le ralentissement ferroviaire est spectaculaire pour les passagers, que dire du fret quand on sait que la vitesse moyenne du conteneur chargé sur un train est de l'ordre de 6 kilomètres à l'heure. Le temps presse. Si les ports de Gênes et de Trieste parviennent dans les dix ans, grâce aux accords séparés de l'Italie avec la Chine, à avoir un hinterland supérieur à celui de Marseille, il ne sera plus possible d'envisager l'avenir de « Marseille en grand », car la compétitivité de toutes les entreprises du quart sud-est de la France sera alors sévèrement impactée. Il faut le dire, regarder la réalité en face, et agir vite. Tant que Limoges, Clermont-Ferrand, et les villes de l'intérieur ne seront pas mieux reliées à leurs ports régionaux, le pays sera condamné à un moindre développement économique, à la désertification de certaines régions accompagnée des légitimes revendications, et nos deux grands ports, Le Havre et Marseille, ne pourront avoir, sur le plan international, et notre pays avec, le rang qui leur revient. Il n'existe pas de grands pays sans grands ports !

L'Allemagne est le leader industriel de l'Europe parce qu'elle dispose de ports qui, contrairement aux nôtres, fonctionnent.

Il est temps de faire de la mer, pour le meilleur, le moteur de notre économie, de mettre la mer au cœur de notre économie, et de redonner vie à notre vieux pays par une fluidité retrouvée. Il est temps de mettre en place une grande stratégie maritime dans laquelle l'outre-mer se doit d'avoir toute sa place. Si rien n'est fait, la situation va se tendre inexorablement entre la métropole, exsangue financièrement, et la France ultramarine. Nous ne l'avons récemment que trop vu. Nous risquons fort de nous séparer, ce qui fera manquer à l'Hexagone autant qu'à l'outre-mer de formidables opportunités économiques. À nous de jouer « gagnant-gagnant », encore faut-il, pour cela, disposer d'une solide ambition maritime. C'est justement parce que ces territoires ultramarins n'ont pas de politique maritime qu'ils connaissent des difficultés économiques. Ce n'est pas parce que l'on est une île ou, comme la Guyane, un littoral ancré loin à l'intérieur des terres par des fleuves puissants, que l'on est naturellement tourné vers la mer. Hormis en Polynésie et à Saint-Pierre et Miquelon, la culture n'y est pas plus maritime qu'en métropole, et la mer représente un danger plus qu'un champ d'opportunités. Si nous ne nous tournons pas tous ensemble vers la mer, nous resterons sur les rivages d'un temps historique dépassé et nous continuerons à alimenter nos crises. La politique maritime française ne doit en aucun cas être fondée sur une idéologie, elle doit naître des réalités de terrain. Le Grenelle de la mer a voulu instituer dans chaque territoire un conseil maritime ultramarin, et, pour la métropole, des conseils maritimes « de façade », fondateurs d'un nouveau type de gouvernance, pour réunir représentants de l'État, élus, syndicats, patronat et ONG. Leur objectif étant d'identifier de façon très pragmatique les points forts de chaque territoire, que ce soit sur les plans humain, naturel ou scientifique, et de les mettre en œuvre au cœur d'une politique maritime autant créatrice de richesses et d'emplois que respectueuse de l'environnement. Pour avoir eu le privilège d'ouvrir ces discussions en tant que secrétaire général du Grenelle de la mer, sous l'autorité de Jean-Louis Borloo, alors ministre d'État en charge de la Mer, et de suivre leurs travaux pendant plus d'un an, je puis vous assurer que chaque territoire dispose de puissants atouts permettant de fonder une politique régionale capable de conjuguer croissance, emplois, pouvoir d'achat et, tout aussi important, bien-être, la politique nationale n'étant finalement que la déclinaison de ces stratégies locales. Il n'est plus que de donner vie, de donner corps à ces conseils, pour qu'une politique à la dimension de notre espace puisse enfin voir le jour. ■

Christophe Buchet

CHRISTIAN BUCHET

OSONS LA MER

UNE RÉVOLUTION MARITIME POUR FAIRE DE LA FRANCE LA PREMIÈRE PUISSANCE ÉCONOMIQUE MONDIALE



« *Osons la mer* » de Christian Buchet, *Le Cherche Midi*

La grande aventure de l'homme sous l'océan



Depuis son ouverture au public en 2002, la Cité de la Mer, consacrée à l'aventure humaine dans les grands fonds, a conquis plus de 3,6 millions de visiteurs. Logée sous la grande voûte Art déco de l'ancienne Gare Maritime Transatlantique de Cherbourg, le projet touristique normand regroupe un aquarium géant, le sous-marin *Le Redoutable*, les engins emblématiques de la plongée profonde ainsi que de nombreuses expositions.



© La Cité de la Mer / H.Drouot

Le Redoutable et la Gare Maritime Transatlantique.

Un lieu d'exception

La création de la Cité de la Mer a permis le sauvetage de la Gare Maritime Transatlantique de Cherbourg, un patrimoine unique d'architecture, inauguré en 1933 et figure de proue de la plus grande rade artificielle du monde.

C'est tout d'abord l'occasion de visiter *Le Redoutable*, premier Sous-marin Nucléaire Lanceurs d'Engins français. Lancé le 29 mars1967 à Cherbourg, c'est le plus grand sous-marin visitable au monde.

Puis le visiteur découvrira le pôle Océan, qui regroupe l'Aquarium Abyssal le plus profond d'Europe ainsi que 14 autres bassins.

Deux parcours permanents ont enrichi la visite depuis l'ouverture : *« On a marché sous la mer »*, et *« Titanic, retour à Cherbourg »*. Ce dernier espace propose de revivre la traversée du mythique paquebot, depuis son escale à Cherbourg jusqu'à la nuit tragique du naufrage, avec des reconstitutions de son décor.

Au cœur de la Grande Galerie des Engins et des Hommes résident les engins emblématiques de la plongée profonde, réels ou reconstitués à taille réelle.

De nombreuses personnalités internationales accompagnent les défis que relève la Cité de la Mer. Des océanautes ou ingénieurs, des architectes comme Jacques Rougerie ou encore des réalisateurs comme Jacques Perrin. La Cité de la Mer se distingue par l'hommage qu'elle rend à l'épopée de ces pionniers. Lors de grands rendez-vous organisés en leur présence, des océanautes comme Don Walsh, Paul-Henri Nargeolet, Anatoly Sagalevich et d'autres ont témoigné avoir trouvé le seul lieu au monde où transmettre leur passion, leur histoire, au plus grand nombre.

La Cité de la Mer
Gare Maritime Transatlantique - Cherbourg-Octeville
50100 CHERBOURG-EN-COTENTIN
Tél : 02 33 20 26 69 - www.citedelamer.com
Découvrez la visite sur: http://bit.ly/LaCitedelaMer

Plongée dans les abysses



Promenade en immersion dans le bassin tactile.

La volonté des hommes d'explorer les fonds marins ne date pas d'hier, selon qu'ils rêvaient d'exploits ou de conquêtes guerrières. De tout temps, la mer fut source de rêverie mais aussi de peur pour l'Homme. Monstres, sirènes et autres créatures étranges ont longtemps nourri son imaginaire.

Aujourd'hui, le défi de l'augmentation de la pression sur le corps n'est plus un obstacle. Qu'il s'agisse du matériel de protection ou du système de respiration, tout est très au point. Les hommes-poissons sont ici à l'honneur. Leur fantastique odyssée est retracée à travers une galerie d'illustrations et d'objets d'époque qui laissent rêveur... ou font froid dans le dos. Chaque technique de plongée inventée y est décrite, de la plus rudimentaire comme le tonneau de Lethbridge, aux plus évoluées avec le scaphandre autonome.

Honneur aux croquis du scaphandre à casque imaginé par Léonard de Vinci au XVIe siècle, bien avant l'invention en 1864 du premier modèle autonome avec réserve d'air comprimé, par les français Rouquayrol et Denayrouze. Ce même système qu'avait imaginé Jules Verne dans « *Vingt Mille Lieues sous les Mers* ».

Il faut attendre 1933 pour voir l'invention du détendeur, ce petit appareil respiratoire qui permet d'évoluer librement sous l'eau. Dix ans plus tard, le commandant Cousteau perfectionne le système, et démocratise la plongée avec bouteilles. Aujourd'hui, les hommes repoussent même leurs limites grâce aux caissons hyperbares reliés à des systèmes embarqués à bord.

Se glisser dans la peau d'un chercheur océanographe

Les océans ont beau recouvrir les trois-quarts de la planète, ils gardent aujourd'hui autant de secrets que notre système solaire.

C'est dire si le travail des chercheurs océanographes peut encore réserver de grandes surprises. Question stratégie, les grands fonds intéressent les industries pharmaceutiques et énergétiques pour toutes les richesses qu'ils pourraient contenir. À l'aide de films et de témoignages, La Cité de la Mer explore ces abysses aux paysages lunaires où la lumière n'entre jamais. Entre éruptions volcaniques et plateaux désertiques, on y découvre des animaux vraiment effrayants qui seraient pourtant nos lointains cousins. Car si l'on en croit de nombreux scientifiques, la vie terrestre aurait bien pu apparaître dans ces territoires extrêmes.

Une collection unique au monde d'engins sous-marins

Dès l'entrée, dans la Grande Galerie des Engins et des Hommes, le visiteur est accueilli par les champions des grandes profondeurs. Plongeons avec eux dans la grande épopée internationale des océanautes avec ces drôles d'appareils, 13 sous-marins (français, américain, russe ou japonais).

Ce sont eux qui ont permis aux pionniers des abysses d'aller toujours plus loin dans l'exploration de ces fonds marins moins connus à ce jour que la lune ! Certains comme le Nautile français, le Mir russe et l'Alvin américain, ont plongé sur l'épave du Titanic. Quant à l'Archimède, il est descendu en 1962 à 9 545 mètres sous le niveau de la mer.

Puis sont présentés de vrais sous-marins : Cyana, Globule, Total Sub, la tourelle de Galeazzi ou encore Archimède. Les autres sont exposés sous forme de maquette échelle 1 : Nautile, Mir, Shinkaï, le Nautilus de Fulton, Alvin, la sphère de Beebe et Barton et Deepsea Challenger, la réplique du sous-marin de James Cameron, recordman en 2012 de plongée profonde en solitaire à - 10 908 m. Derniers arrivés : Les Rémora 2000 et 600 sont deux sous-marins issus de la collection de Henri-Germain Delauze.



© La Cité de la Mer / B.Almodovar

La Grande Galerie des Engins et des Hommes.

Surplombant les autres submersibles, la "coiffe" de SeaOrbiter est une pièce unique d'un futur vaisseau d'exploration des océans aux dimensions impressionnantes (9 m de haut, 7 m de large pour un poids de 2 tonnes). A proximité, une maquette de SeaOrbiter rappelle le projet original du célèbre architecte des mers Jacques Rougerie. Ce vaisseau des mers est destiné à étudier les océans depuis la surface mais aussi en profitant d'une partie immergée.

Suivre l'aventure des conquérants des profondeurs

Hommage aux américains William Beebe et Otis Barton : ces ingénieurs fous, descendus en 1934 à -908 mètres dans leur bathysphère d'1,45 m de diamètre reliée par un seul câble à la surface ! La sphère a permis d'observer, de décrire et de photographier pour la première fois des poissons abyssaux vivants et des calamars lumineux qui vivent entre 300 m et 1 000 m de profondeur.

Hommage au suisse Auguste Piccard, qui a inspiré Hergé pour le personnage du Professeur Tournesol, mais qui fut surtout le génial inventeur en 1948 du premier bathyscaphe. 26 ans plus tard, son fils Jacques bat le record absolu des profondeurs à bord du Trieste : -10 916 m.

Hommage au français Henri-Germain Delauze. Cette figure de l'aventure des grandes profondeurs a créé la Comex, entreprise connue dans le monde entier pour ses compétences en matière d'ingénierie sous-marine. Grand passionné, H-G. Delauze a effectué plus de 10 000 plongées professionnelles ou archéologiques et plus de 1 000 plongées en sous-marin, du bathyscaphe Archimède au Rémora 2000.

Depuis mars 2012, James Cameron, réalisateur d'Avatar et Titanic, detient le record de plongée en solitaire à - 10 908 m en 2h56, 52 ans après la plongée record à -10 916 m de Don Walsh et Jacques Piccard. La construction fidèle du sous-marin de 7,3 m fut possible, avec l'accord du célèbre réalisateur et l'aide de ses proches collaborateurs.

Normandie... l'Océan commence ici


© La Cité de la Mer

La tortue cahouanne.

Mais le lieu est également l'occasion de découvrir et de s'émerveiller devant la richesse des océans... sans se rendre à l'autre bout de la planète. Tout en se préoccupant de leur protection. A nos pieds, la mer de la Manche regorge d'espèces et de ressources remarquables, insoupçonnées.
La Cité de la Mer enrichit cet été son parcours dédié aux océans avec une exposition consacrée notamment aux requins, tortues, dauphins et phoques.
Ces formidables animaux marins vivent ici en Normandie, ou venant d'autres horizons, transitent par la mer de la Manche.
De même que le requin pèlerin de 12 m de long, un impressionnant habitant des eaux normandes, ou le plus petit requin pygmée qui évolue dans les grandes profondeurs, en passant par le requin pointes noires dont une femelle occupe l'Aquarium Abyssal.

Un des 15 aquariums, dans un décor totalement repensé, recueille pour la première fois une tortue caouanne. Cette espèce, qui émerveille petits et grands par sa beauté et sa grâce, fréquente elle aussi les eaux normandes.

L'aquarium le plus profond d'Europe

Imaginez un mur de verre de 11 m de hauteur, derrière lequel virevolte une myriade de 1000 poissons et invertébrés dans 350 000 litres d'eau de mer. Précisément le spectacle que l'on découvrirait en plongeant du côté de Tahiti !

Au-delà de l'enchantement des couleurs et des formes, l'Aquarium Abyssal montre comment 200 variétés s'adaptent, se nourrissent et co-habitent parfois dans des milieux extrêmes. Le tout dans les conditions tropicales fidèlement reproduites, jusqu'à suivre l'intensité des lumières du jour et de la nuit. Conçu par l'architecte de la mer et académicien Jacques Rougerie, ce bassin offre 3 niveaux d'observation différents, afin de mieux comprendre l'organisation d'un tel écosystème.
La fierté des responsables de cet aquarium hors normes ? Avoir réussi le peuplement uniquement avec des « post-larves » recueillies dans la nature (avant les prédateurs naturels), et élevées dans les nurseries. Une politique qui s'inscrit dans une démarche résolument durable et écologique.

Elle s'applique aussi pour la reconstitution des coraux qui sont implantés tout bébés pour orner les différents bassins, ou encore avec la méduse Aurélie dont les biologistes de La Cité

de la Mer sont les spécialistes de l'élevage. La promenade se poursuit comme une descente dans les profondeurs, entre les 14 autres aquariums réservant autant de surprises et de merveilles. Chaque aquarium a sa spécificité : un mode de déplacement, une cohabitation surprenante, un comportement unique ou encore une espèce emblématique comme le Nautile, ce crustacé préhistorique dont les ballasts se vident et se remplissent selon qu'il cherche à monter ou à descendre. Une technique de déplacement vieille de 400 millions d'années dont se sont directement inspirés les inventeurs de sous-marins.

La limule et la rascasse volante sont deux espèces emblématiques sous-marines de l'avancée de la recherche médicale, grâce à son sang bleu pour la première et son poison pour la seconde. Les étudier et les sauvegarder a prouvé à l'Homme qu'il doit en faire ainsi avec les océans et ses espèces.


© La Cité de la Mer / B.Almodovar

L'Aquarium Abyssal.

Clou de la visite pour les enfants, le bassin tactile leur permet de mettre les mains dans l'eau et de caresser une colonie de raies et de poissons dociles dont des requins émissoles, une espèce locale qui vient volontiers à la rencontre des jeunes visiteurs. Une manière d'apprendre à les respecter. Au cœur du bassin tactile, on peut aussi entrer dans le Nautibulle, une capsule permettant l'observation sous-marine.

S'offrir des émotions fortes en « marchant sous la mer » !


© La Cité de la Mer / B.Almodovar

Une aventure virtuelle 10 000 mètres sous la mer.

Suivant les instructions du Capitaine Glass, partez enfin pour un voyage au cœur des abysses. Pendant près d'une heure, les participants vont tout d'abord traverser divers sas d'entrainements pour être fin prêts à plonger dans les abysses : ils vont être confrontés à l'obscurité ou encore à l'ivresse des profondeurs et apprendre à communiquer en plongée.
Puis, à bord d'un simulateur , ils plongent à 10 000 mètres sous le niveau de la mer.
Gare aux éruptions volcaniques et aux rencontres avec d'inquiétantes créatures ! Les équipages continuent leur plongée côte à côte avec des baleines et vont en subir les turbulences de rigueur. De retour à la surface, ils seront tous les héros de leur aventure grâce à un habile procédé vidéo.

LIVRES



RÊVES DE MARS



Cet ouvrage présente par le texte et par l'image les principaux projets d'expéditions habitées vers la planète rouge. Les amateurs de Mars et d'astronautique s'y retrouveront avec cette somme d'informations encore largement inédites. Ils découvriront que l'Homme sur Mars est à notre portée de main : ce n'est plus une affaire de volonté et moins un problème technique que politique pour que ce rêve devienne réalité !

« Rêves de Mars », par Philippe Coué Editions L'esprit du temps 2018 - 240 pages - 23€



BLOUSE BLANCHE ET POILS DE CHIEN

L'incroyable parcours d'une infirmière hors du commun, chercheuse à l'institut Curie et docteur en sciences, pour qui le soin aux patients est la priorité. Pour eux, Isabelle Fromantin mène des recherches pour faire avancer le dépistage du cancer grâce à une technique originale : l'odorologie canine. Elle lance le projet "Kdog" spécialisé dans



le cancer du sein : une première mondiale, un mouvement généreux et citoyen dont les premiers résultats sont encourageants.

« Blouse blanche et poils de chien » par Isabelle Fromantin, avec Sandra Kollender - La Martinière 2018 - 240 pages - 19,90€



33 IDÉES REÇUES SUR LA PRÉHISTOIRE



L'homme descend-il du singe ? Cro-Magnon est-il l'ancêtre des Français ? La préhistoire était-elle vraiment l'époque des « âges farouches » ? Néandertal vivait-il dans un décor de glace ? A bas les clichés ! Le paléontologue Antoine Balzeau, chercheur au CNRS et au Muséum national d'histoire naturelle, met les choses au clair avec humour à partir des connaissances les plus récentes.

« 33 idées reçues sur la Préhistoire », par Antoine Balzeau/Illustrations de Olivier Marc Nadel - Belin 2018 - 208 pages - 20€



L'AVENTURE EXTRAORDINAIRE DES PLANTES VOYAGEUSES



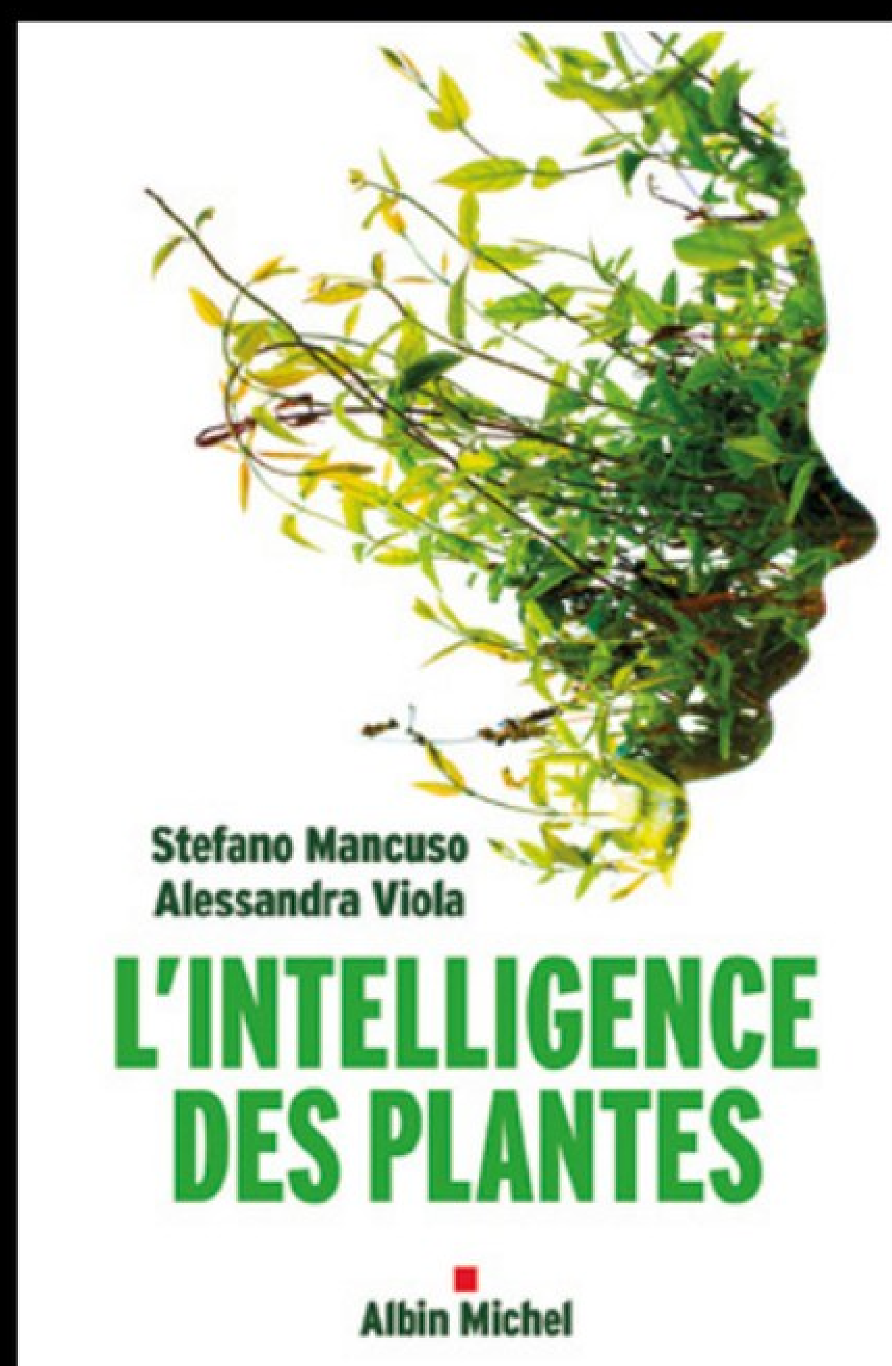
Biologiste et grande voyageuse, Katia Astafieff nous livre dix incroyables aventures de plantes venues d'ailleurs (tabac, kiwi...). Dix plantes, mais aussi dix explorateurs partis en expédition au bout du monde au péril de leur vie, des chercheurs d'or vert, des Indiana Jones de la botanique ! Tel l'espion britannique Robert Fortune, déguisé en mandarin pour voler le secret du thé aux Chinois.

« L'aventure extraordinaire des plantes voyageuses », par Katia Astafieff Dunod - 2018 - 176 pages - 17,90€

DÉCOUVERTES



L'INTELLIGENCE DES PLANTES

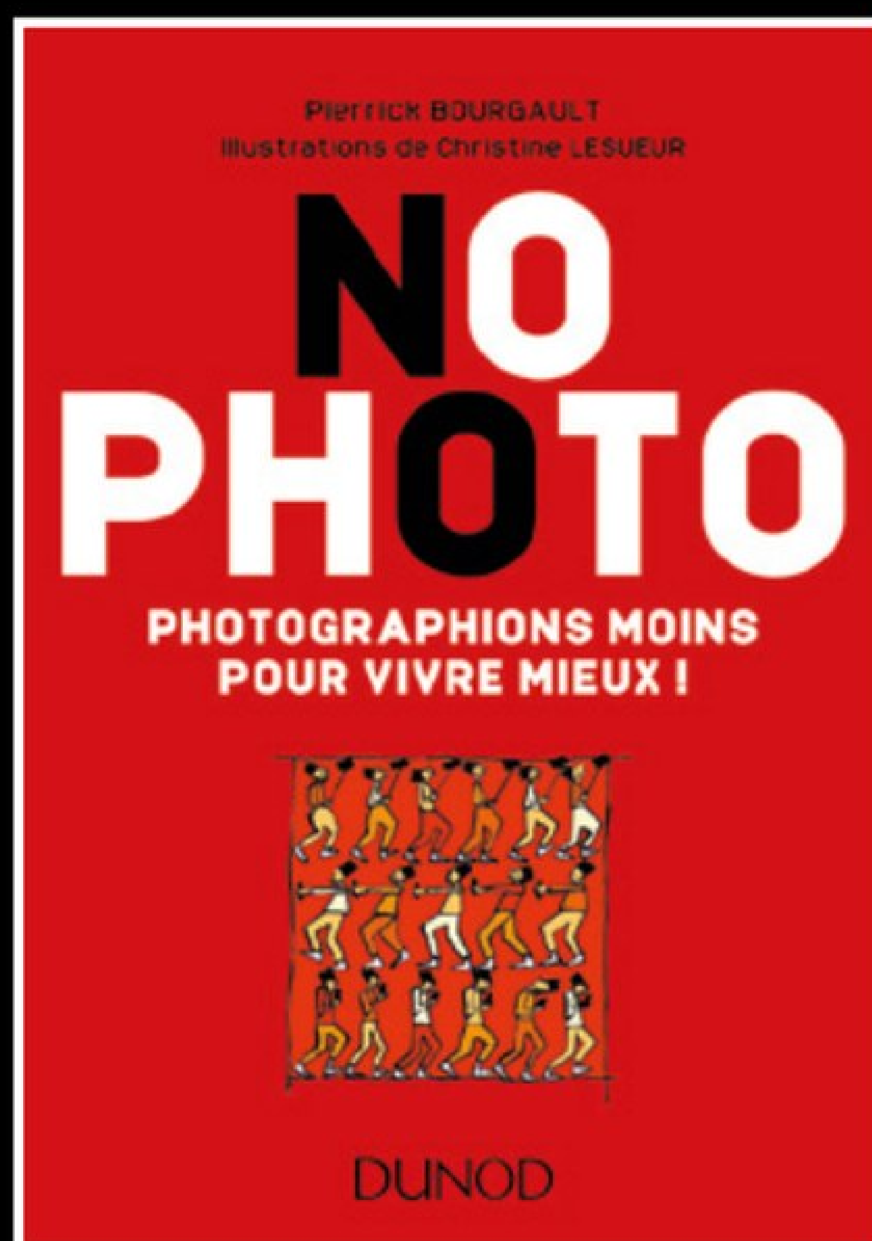


Fondateur de la neurobiologie végétale, Stefano Mancuso a été le premier à démontrer que les plantes fouillent le sol à la façon d'une colonie d'insectes, qu'elles peuvent percevoir des sons, qu'elles sont capables de mémoriser et d'apprendre, qu'elles peuvent discerner des formes et des couleurs.
Dans ce livre pionner couronné par de nombreux prix, il nous fait découvrir ces capacités surprenantes du monde végétal, indispensable à la survie de l'humanité et également essentiel pour l'inspiration de techniques nouvelles.

« L'intelligence des plantes » par Stefano Mancuso et Alessandra Viola Albin Michel 2018 236 pages - 18€



NO PHOTO



Cet essai léger mais sans concession nous invite à réfléchir sur notre rapport à l'image et s'intéresse à la manie actuelle de photographier à outrance. Le journaliste et photographe Pierrick Bourgault, lauréat du Grand Prix AFJA du journalisme pour ses reportages en Irak, donne la parole à une photothérapeute, des psychologues, artistes, philosophes et écrivains pour mieux comprendre tout en nous engageant à vivre pleinement l'instant et à retrouver le plaisir de photographier.

« No Photo : Photographions moins pour vivre mieux ! », par Pierrick Bourgault/ Illustrations de Christine Lesueur Dunod - 2018 - 176 pages - 12,90€



OUBLIER LA TERRE ?



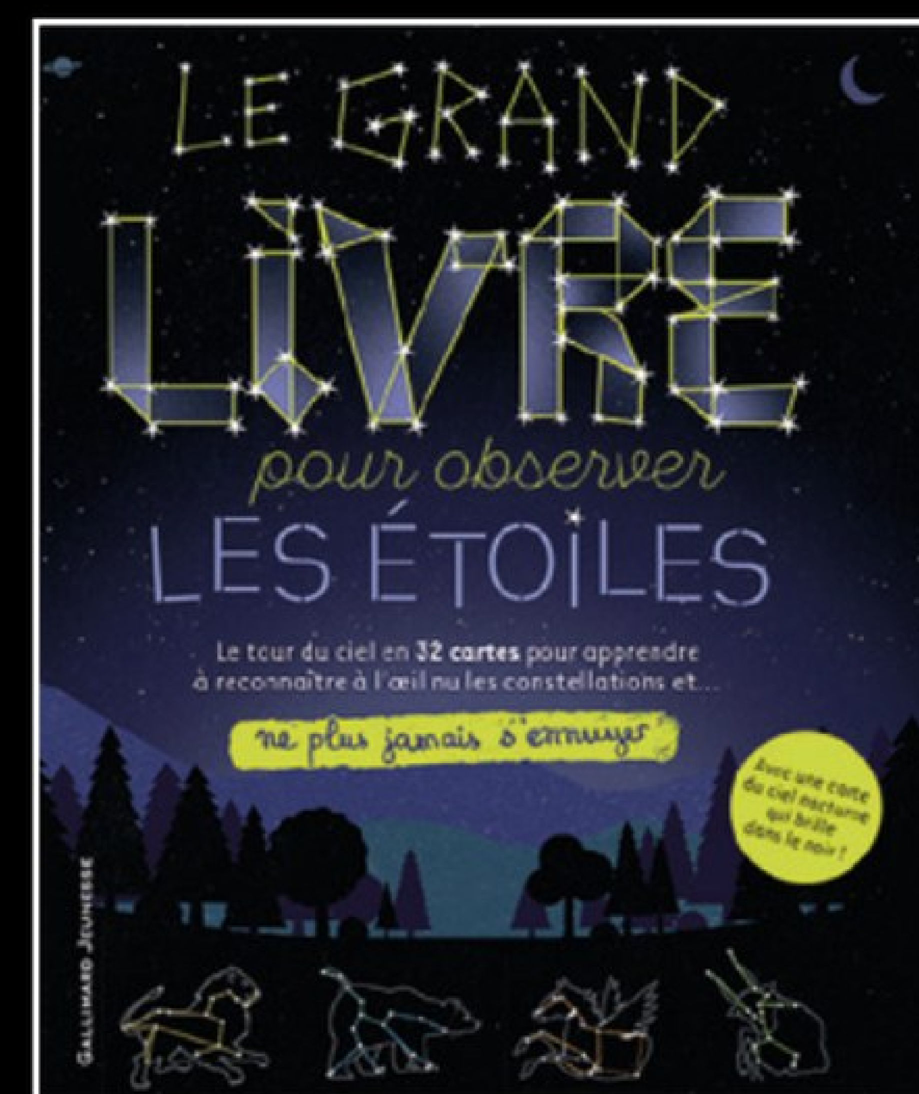
« La conquête spatiale 2.0 est-elle un grand pas pour l'humanité ? » s'interroge le philosophe et historien des sciences Jacques Arnould, chargé des questions éthiques au Centre national d'études spatiales (CNES). Aujourd'hui, les cadors de la Silicon Valley investissent massivement dans le spatial. Leur but est de changer le monde, ni plus ni moins, de pouvoir fuir la Terre menacée de destruction. Or ce monde est aussi le nôtre et les questions que pose cette conquête spatiale 2.0 nous concernent tous.

« Oublier la Terre ? La conquête spatiale 2.0 », par Jacques Arnould Le Pommier - 2018 - 164 pages - 17 €



LE GRAND LIVRE POUR OBSERVER LES ÉTOILES

Le tour du ciel en 32 cartes pour apprendre à reconnaître à l'œil nu les constellations. Pour les débutants en astronomie, à partir de 8 ans, voici le guide idéal pour situer les étoiles les plus remarquables et identifier les 20 principales constellations de nos latitudes selon les saisons. Est incluse une carte du ciel fluorescente.

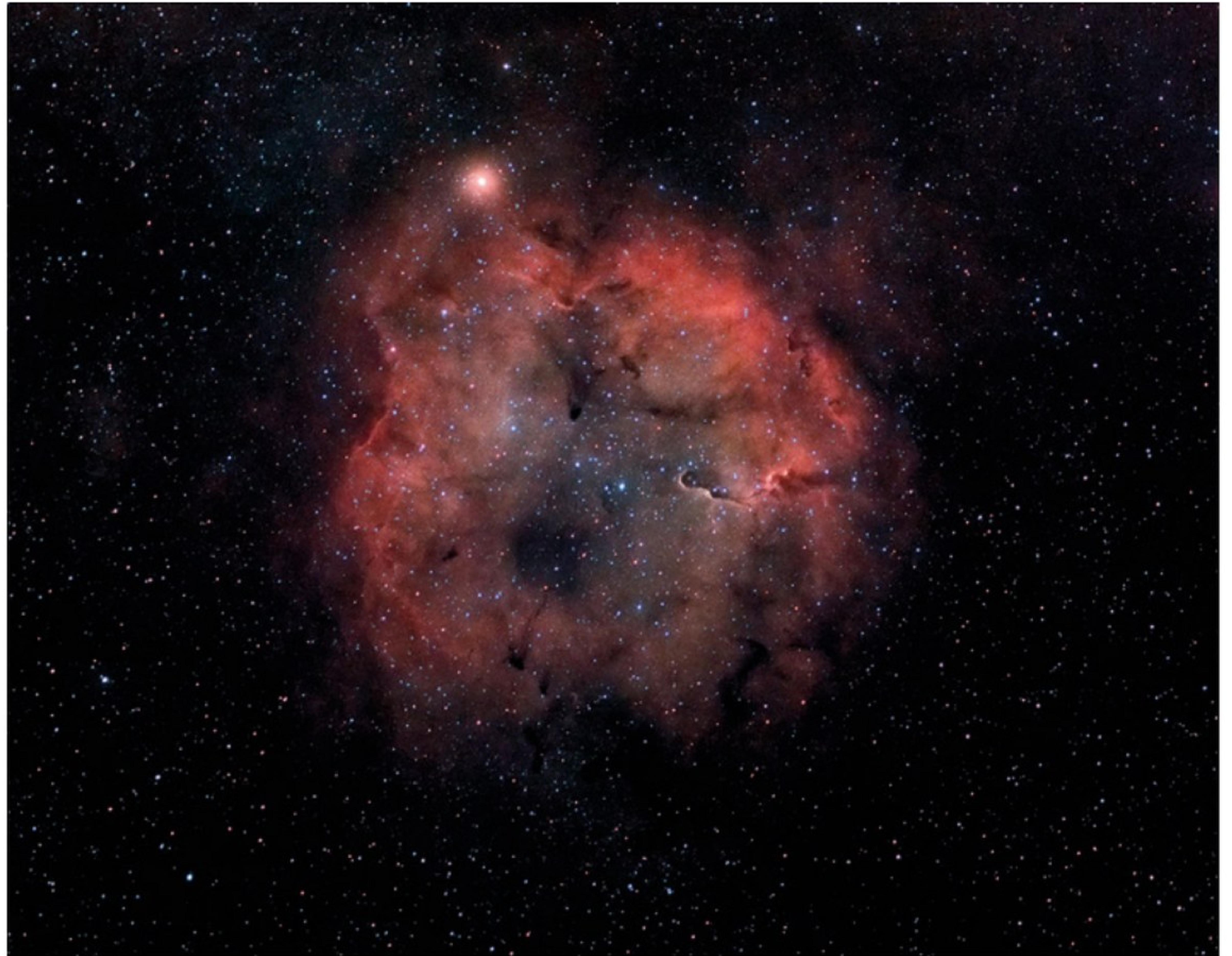


« Le grand livre pour observer les étoiles » - Gallimard Jeunesse - 2018 128 pages - 17,80€

Pourquoi l'étoile supergéante Bételgeuse brille-t-elle beaucoup moins ?

Bételgeuse est la seconde étoile la plus brillante de la constellation d'Orion, encore dénommée le Chasseur. Cette supergéante rouge est l'une des plus grosses étoiles connues : elle est environ 1 000 fois plus grosse que le Soleil. C'est aussi l'une des étoiles les plus lumineuses de notre ciel puisqu'elle rayonne comme plus que 100 000 Soleils réunis ! Ce qui signifie qu'elle s'approche de sa fin et va exploser en supernova.

Pourtant, au cours de l'hiver 2019-2020, Bételgeuse a surpris le monde entier : elle est devenue bien moins brillante qu'elle ne l'avait été depuis au moins 150 ans. Cette perte soudaine de luminosité était visible à l'œil nu. Pourquoi ce changement ?



Pour comprendre la raison de ce phénomène étonnant, une campagne d'observations a été menée par une équipe internationale d'astronomes dirigée par un chercheur de l'Observatoire de Paris - PSL au LESIA (Observatoire de Paris - PSL/CNRS/Sorbonne Université/ Université de Paris).
Les scientifiques ont utilisé les instruments SPHERE au Very Large Telescope de l'ESO (Chili), et GRAVITY équipant son interféromètre, le VLTI. Et ils ont comparé deux images de Bételgeuse, l'une prise en décembre 2019, l'autre plus ancienne obtenue en janvier 2019, où l'équipe avait remarqué un assombrissement sur la partie Sud de Bételgeuse.

En poursuivant sans relâche ces observations, les chercheurs ont mis en évidence une activité minimale de l'étoile fin janvier 2020 suivie d'un retour à son niveau nominal de brillance en mars suivant : *« En quelques semaines, ce fut une occasion inouïe d'assister à des changements d'ampleur, encore jamais observés à la surface de l'étoile »*, explique Miguel Montargès, post-doctorant à l'Observatoire de Paris - PSL et premier auteur de l'étude.

En juin 2021, dans la revue Nature, l'équipe a révélé, à travers ses observations inédites de l'étoile, l'origine de sa baisse de luminosité. Deux phénomènes successifs y ont contribué : tout d'abord un refroidissement local s'est produit à la surface, et il a provoqué une formation de poussières. Celle-ci a eu lieu devant l'astre, une zone dans laquelle se trouvait aussi un nuage de gaz précédemment éjecté par Bételgeuse. Ces nouvelles poussières constituent ce que l'on appelle la poussière d'étoiles. *« L'affaiblissement exceptionnel de la luminosité de Bételgeuse nous a permis de voir cette immense étoile expulser en direct sa matière dans l'espace ; c'est un phénomène essentiel pour comprendre l'évolution de la matière à l'échelle cosmique »*, note Pierre Kervella, astronome de l'Observatoire de Paris - PSL au LESIA et co-auteur de l'étude.

Début 2020, la baisse de luminosité de l'étoile avait pu laisser présager son explosion imminente en supernova. En effet, les chercheurs ne savent pas exactement quels sont les signes avant-coureurs d'une supernova. On aurait pu alors voir Bételgeuse en plein jour, car elle aurait été aussi brillante que la pleine lune, la nuit. Un tel événement n'a pas été observé dans notre galaxie depuis le 17e siècle ! Mais les travaux confirment définitivement que la diminution de luminosité de l'étoile n'est pas l'annonce de son agonie imminente.

Ces résultats sont le fruit de la précision inégalée des instruments SPHERE et GRAVITY, à la construction desquels les équipes de l'Observatoire de Paris - PSL et du CNRS au LESIA ont été étroitement associées.
Le LESIA développe à présent de nouveaux instruments qui permettront à l'avenir de continuer à suivre Bételgeuse avec plus de détails. Parmi eux, l'imageur par optique adaptative MICADO qui équipera l'Extremely Large Telescope (ELT) de 39 mètres de diamètre, en cours de construction par l'ESO au Chili.

Gagner le combat contre la pollution plastique

Ils sont partout, dans tous les écosystèmes naturels du monde, et surtout dans les environnements marins et d'eau douce. Chaque année, plusieurs millions de tonnes de plastique se déversent des fleuves vers les océans. Et pourtant ces estimations, si elles sont justes, sont 10 à 100 fois supérieures à la quantité de microplastiques dérivant à la surface des océans pour lesquels aucune augmentation notable n'a encore été observée. Où va donc tout ce plastique ? Y aurait-il un "puits" séquestrant rapidement la majorité du plastique quelque part dans l'océan ?



Des chercheurs ont entrepris de réexaminer ces estimations, et ont démontré qu'elles avaient été surestimées de deux à trois ordres de grandeur. Ces études ont été faites par le Dr Lisa Weiss et ses collègues du Centre de formation et de recherche sur les environnements méditerranéens (CEFREM), un laboratoire commun à l'Université de Perpignan (UPVD) et au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), associés à des chercheurs de plusieurs laboratoires de France et d'Espagne. La recherche du « puits de plastique manquant » est par conséquent terminée, car les plastiques manquants ont été trouvés grâce à la correction de l'estimation des apports fluviaux.

Mais, a contrario, les scientifiques ont également montré que les microplastiques à la surface des océans sont susceptibles de flotter beaucoup plus longtemps que ce qui avait été estimé précédemment.

Leur temps de séjour moyen doit en fait être de quelques années, et non de quelques jours seulement, comme supposé auparavant. Ce qui aggrave donc et prolonge les effets néfastes de la pollution plastique sur les écosystèmes marins.

Les chercheurs rappellent que les déchets marins ne se soucient pas des frontières et ont atteint les zones les plus reculées de notre planète et de nos océans. Pour avoir une chance de gagner le combat contre la pollution microplastique, la seule solution est de changer nos habitudes de consommation et de mieux gérer nos déchets à l'échelle mondiale. Car l'étude montre que la pollution marine par les microplastiques ne provient pas seulement des pays en voie de développement, avec peu ou pas de gestion des déchets.

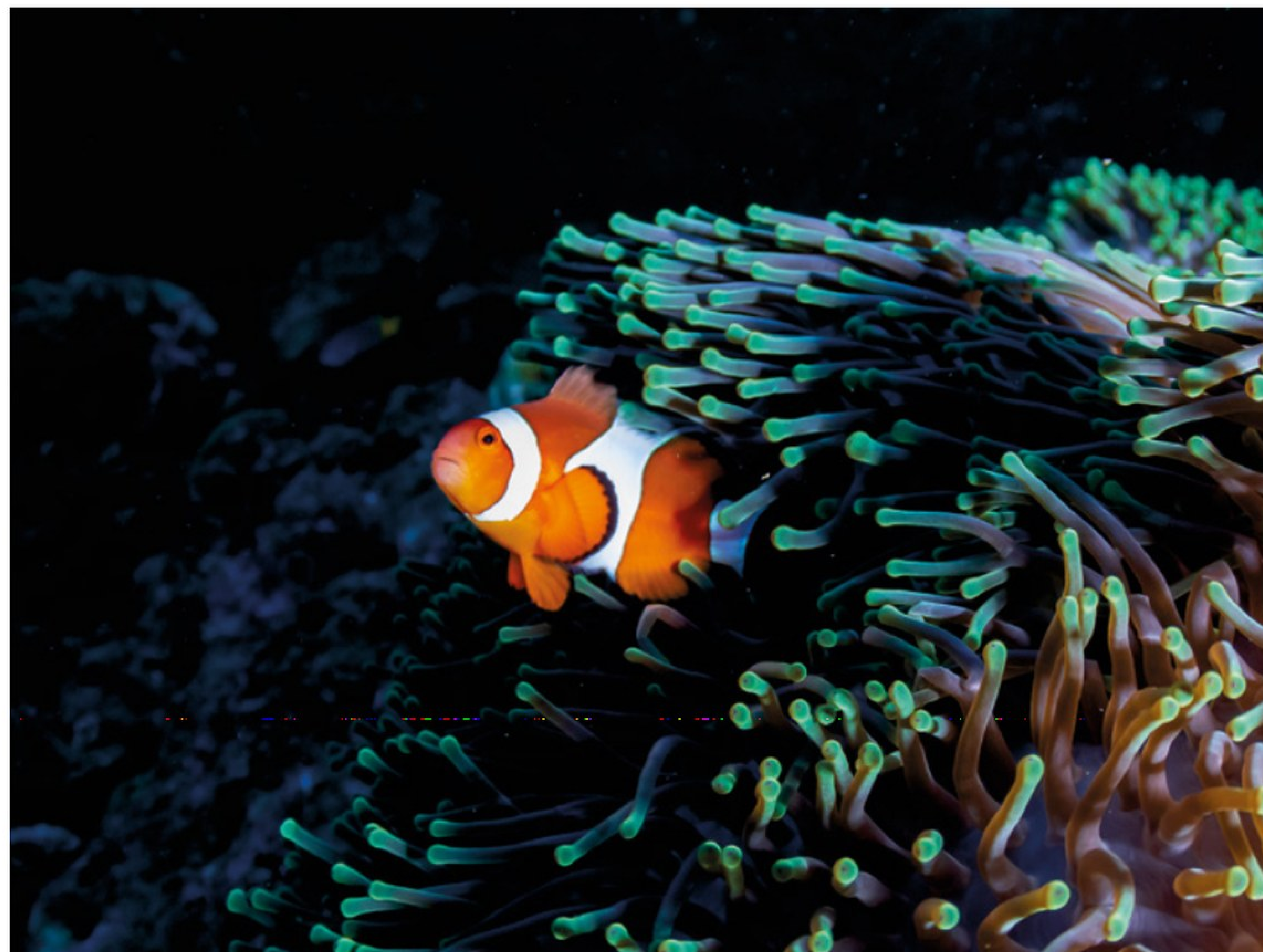
Les rayures du poisson clown s'adaptent à son environnement

Dans un paysage qui connaît d'importants changements, par exemple au fil des saisons, un animal peut changer de couleur afin de ne pas faire tache. Ainsi le renard polaire devient blanc l'hiver.

On appelle ce phénomène la plasticité phénotypique, soit la capacité d'un organisme à exprimer différents phénotypes en fonction de son environnement. Mais la façon dont cette plasticité est orchestrée reste une énigme...

Par exemple, les jeunes poissons-clowns peuvent retarder la formation de leurs bandes blanches selon les anémones dans lesquelles ils vivent : anémones dites tapis *(Stichodactyla gigantea)* ou anémones magnifiques *(Heteractis magnifica)*. Si le poisson-clown vit en symbiose avec les anémones de mer, il n'est pas coloré au début de sa vie : les larves sont jaunes voire transparentes. C'est au moment de leur métamorphose qu'elles commencent à changer de couleur et que les bandes blanches apparaissent, d'abord sur la tête et le corps, puis au niveau de la queue. On sait que les hormones thyroïdiennes jouent

un rôle clé dans la métamorphose, un processus très important pour le poisson-clown puisque c'est au cours de cette transition développementale qu'il change d'apparence et d'environnement en s'installant dans son anémone de mer. Il s'agissait donc de comprendre comment le processus de métamorphose peut être modifié chez le poisson-clown selon l'espèce d'anémone de mer dans laquelle il vit. Cela pour aider à comprendre comment les poissons-clowns s'adaptent à leurs différents environnements.



Des scientifiques de l'Okinawa Institute of science and technology graduate University (Japon) et de l'Observatoire océanologique de Banyuls-sur-Mer (Sorbonne Université/CNRS) se sont intéressés à la question. Ils ont exposé en laboratoire de jeunes larves de poissons-clowns à différentes doses de ces hormones. Plus la dose était forte, plus vite les bandes blanches se formaient ! Au contraire, en traitant ces jeunes larves avec une molécule bloquant la synthèse des hormones thyroïdiennes, l'apparition des bandes se trouvait retardée.

Puis les chercheurs sont allés dans la baie de Kimbe, en Papouasie Nouvelle-Guinée, et ils ont dosé les hormones thyroïdiennes chez des juvéniles du même âge et taille, prélevés dans des anémones de mer *S.gigantea* ou *H.magnifica*. Et ils ont pu voir que les taux d'hormones thyroïdiennes étaient bien plus importants chez les juvéniles prélevés chez *S. gigantea* que chez ceux prélevés chez *H. magnifica*, ce qui permettait une formation plus rapide des bandes blanches chez ces individus. Un gène appelé duox a pu être identifié, responsable de cette augmentation du taux d'hormones thyroïdiennes. À noter que ce gène est également important chez l'homme pour la formation de ces hormones.
Les organismes vivants sont donc capables de modifier leur développement, en modifiant leur production hormonale, en fonction de l'environnement dans lesquels ils vivent. Ces mêmes sortes de mécanismes se mettent en route quand les organismes doivent s'adapter à d'autres changements environnementaux (réchauffement climatique, pollution chimique, acidification des océans...). Ces mécanismes de plasticité seraient donc à la base des capacités évolutives et d'adaptation des organismes vivants.

Des générateurs thermoélectriques surpuissants

Capables de produire une puissance électrique à partir d'une différence de température, les générateurs thermoélectriques permettent de valoriser les énormes quantités de chaleur perdues quotidiennement.

Mais leur coût et la faible puissance électrique générée limitent grandement leur utilisation. Une équipe internationale de chercheurs vient de développer des générateurs du futur, à haute densité de puissance électrique.

Certains matériaux peuvent produire une tension électrique sous l'effet d'un flux de chaleur qui les traverse : ce sont des matériaux thermoélectriques. C'est l'effet Seebeck qui génère l'électricité : d'énormes quantités de chaleur dissipées quotidiennement dans notre environnement sont récupérées et converties en électricité.
Mais pendant longtemps, les générateurs thermoélectriques ont été limités à des applications spatiales pour lesquelles leur extrême fiabilité a justifié leur utilisation. Ils ont fourni l'électricité à la grande majorité des sondes envoyées dans l'espace (Voyager, Pioneer, New Horizons...) et des rovers martiens (Curiosity et Perseverance). Toutefois, leur coût élevé et leur faible rendement par rapport à d'autres technologies vertes de conversion de l'énergie, comme les cellules solaires, ont représenté un frein à leur développement pour des applications plus courantes.
Comment sont constitués ces générateurs ? Deux plaques céramiques sont séparées par des « jambes » de matériaux thermoélectriques,

le plus souvent des semi-conducteurs. Pour une différence de température donnée, plus la hauteur des jambes est faible, plus la puissance électrique générée par le dispositif sera importante. Cet avantage est cependant contre-balancé par une augmentation importante des contraintes thermomécaniques lorsque la taille des jambes semi-conductrices se réduit, ce qui limite fortement la durée de vie du dispositif.



Pour contourner cet obstacle, une équipe de l'Institut Jean Lamour (CNRS/Université de Lorraine) a récemment proposé une nouvelle architecture des jambes thermoélectriques. Celle-ci est basée sur l'alternance de couches de matériaux thermoélectriques ayant une faible épaisseur (~1 mm) et de couches de composites métalliques qui jouent le rôle de tampon thermomécanique. Cette innovation a été testée sur des générateurs thermoélectriques intégrant des matériaux skutterudites, des semi-conducteurs, combinés à deux types de composites métalliques. Résultat : des densités de puissance excédant largement celles précédemment enregistrées ont ainsi été obtenues, avec notamment une amélioration record atteignant 260%. Cette stratégie de multicouches est applicable à d'autres familles de composés thermoélectriques performants. Une nouvelle génération de générateurs thermoélectriques à haute densité de puissance pourrait donc bien voir le jour.

L'odeur de la mère peut donner au bébé l'illusion de son visage



Difficile pour un nourrisson de percevoir les visages car sa vue est peu développée. Souvent l'odorat vient à la rescousse car ce sens est plus mature. Mais ne pourrait-il pas induire le bébé en erreur ?

Dès les premiers mois de sa vie, le nourrisson répond préférentiellement aux odeurs humaines, notamment maternelles. Lors de précédents travaux, des chercheurs du Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation (CNRS, Université Bourgogne Franche-Comté, Inrae, AgroSup Dijon) avaient observé qu'en présence de l'odeur de sa mère, le bébé de 4 mois regarde davantage les visages que d'autres objets présentés simultanément.

**En collaboration avec le Fraunhofer IPM de Fribourg (Allemagne), l'ICMPE (Université Paris Est Créteil/CNRS), et le JPL (NASA) à Pasadena, Etats-Unis.*

Et son cerveau répond plus fortement à des visages présentés parmi d'autres objets.

Pour cette nouvelle étude, ils ont évalué si l'odeur engendre directement la réponse aux visages dans le cerveau du jeune enfant, et ce en utilisant des images d'objets pouvant être perçus comme des visages. Cette illusion visuelle est appelée *paréidolie*, comme lorsqu'on perçoit un visage dans les nuages ou la mousse du café.

Des nourrissons de 4 mois ont été alternativement exposés à deux t-shirts, avec ou sans l'odeur de leur mère, et leur activité cérébrale était enregistrée par électroencéphalographie. Sur l'écran devant les bébés, des photographies d'objets variés se succédaient rapidement, certaines évoquant des visages. Les scientifiques ont mesuré l'émergence d'une réponse cérébrale distincte entre objets « faciaux » et objets contrôles « non-faciaux » : cette réponse témoignait de la perception d'un visage illusoire dans les objets « faciaux ».

Les résultats montrent que le cerveau du nourrisson répond peu aux visages illusoires quand il est exposé au t-shirt qui n'a pas été porté par la mère. En revanche, lorsque l'on délivre l'odeur de la mère, l'activité cérébrale spécifique aux objets « faciaux » est grandement amplifiée. Au niveau individuel, la majorité des bébés ne perçoit les visages illusoires que s'ils sentent en même temps l'odeur maternelle. L'odeur initie donc chez eux l'illusion d'un visage pour des objets qui n'étaient initialement pas perçus comme tel.

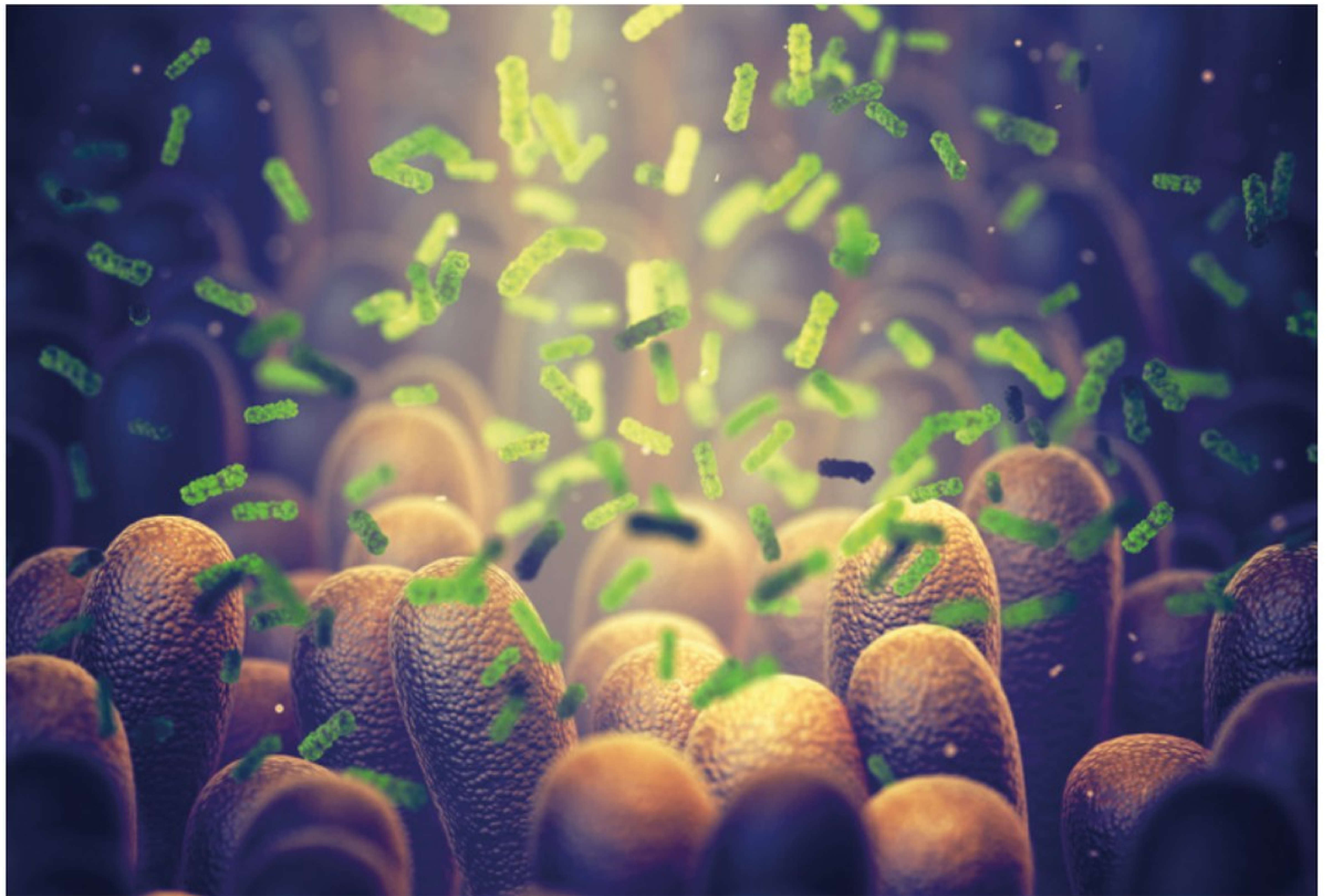
La preuve est donc établie que le système visuel encore immature du jeune enfant se nourrit d'informations sensorielles non visuelles comme les odeurs pour faciliter, et même façonner, la perception des visages.

De manière plus générale, cette étude montre le rôle fondamental des interactions entre les sens pour interpréter l'environnement social.

Les cellules mourantes protègent leurs voisines

Tout au long de la vie, les tissus humains se renouvellent et pour cela éliminent en permanence des cellules par millions. Pourtant, cela ne gêne en rien leur cohésion, leur forme et leur intégrité. Comment est-ce possible ?

Des chercheurs de l'Institut Pasteur et du CNRS ont découvert un nouveau processus permettant aux cellules éliminées de protéger transitoirement leurs voisines de la mort cellulaire, maintenant ainsi la cohésion du tissu.



Les tissus que l'on appelle les épithéliums humains sont ceux qui protègent le corps (épiderme, muqueuses internes...) en jouant le rôle de barrière physique et chimique. Un rôle important constamment mis à l'épreuve par l'environnement extérieur ainsi que par leur propre renouvellement. Ce renouvellement repose sur la formation de nouvelles cellules par division cellulaire et sur l'élimination des cellules mortes. Les mécanismes régulant la capacité des épithéliums à maintenir leur cohésion dans ces contextes restent encore méconnus. Et pourtant, on peut observer cette situation lors de l'embryogénèse ou lors du maintien de tissus adultes. Par exemple, plus de 10 milliards de cellules peuvent être éliminées chaque jour dans l'intestin d'un adulte !

Les chercheurs ont voulu identifier les mécanismes participant à la cohésion des épithéliums et les conditions qui peuvent affecter leur imperméabilité. Ils ont utilisé pour cela la drosophile (ou mouche du vinaigre), un organisme étudié en laboratoire dont l'organisation des épithéliums est très similaire aux humains.

En utilisant des marqueurs fluorescents sensibles à l'activité des protéines, les scientifiques révèlent que la mort d'une cellule entraîne l'activation temporaire de la voie EGFR-ERK chez les cellules voisines. Cette voie d'activation de signaux cellulaires est

connue pour son implication dans la régulation de la survie des cellules. Les chercheurs ont observé que l'activation de la voie EGFR-ERK permet de protéger, pendant une heure environ, les cellules voisines de la mort cellulaire et empêche ainsi l'élimination simultanée d'un groupe de cellules.
Les travaux des scientifiques montrent aussi que l'inhibition de ce mécanisme de protection a un effet drastique sur le tissu : l'élimination des cellules devient alors aléatoire, et des cellules voisines peuvent être éliminées en même temps et engendrer des pertes d'imperméabilité à répétition. Ces éliminations en groupe ne sont jamais observées dans le tissu en situation normale, quand il n'y a pas d'inhibition provoquée de la voie EGFR-ERK, cela même lorsqu'un grand nombre de cellules est éliminé.
En utilisant un nouvel outil optogénétique permettant de contrôler dans le temps et l'espace la mort des cellules et de court-circuiter également le mécanisme de protection, les chercheurs confirment ainsi que la cohésion de l'épithélium se dégrade dès que des cellules voisines sont éliminées simultanément. Le tissu peut résister à un grand nombre d'éliminations, mais la cohésion de l'épithélium est affectée dès que trois cellules voisines sont éliminées simultanément.

Les tissus doivent donc mettre en place des mécanismes empêchant les éliminations groupées. Ce qui illustre leur incroyable capacité d'auto-organisation : une propriété qui leur permet de résister à de nombreuses conditions de stress. Pour déterminer où et quand les cellules meurent, tout est basé sur des communications très locales entre cellules voisines.
Ce processus semble avoir été conservé tout au long de l'évolution. D'ailleurs le même mécanisme de protection basé sur des activations locales de EGFR-ERK a été découvert de façon indépendante dans des lignées de cellules humaines par un groupe de recherche dirigé par Olivier Pertz à l'université de Berne, en Suisse. Les résultats de cette autre étude suggèrent que le mécanisme de protection est conservé entre des espèces pourtant séparées depuis plusieurs centaines de millions d'années. Il s'agirait par conséquent d'un mécanisme relativement universel.

Les chercheurs poursuivent leur étude pour déterminer si la perturbation de ce mécanisme de coordination des morts cellulaires et les pertes répétitives de l'imperméabilité des tissus pourraient être une des causes d'inflammation chronique. Ce phénomène mérite d'être étudié car il provoque des maladies qui sont aujourd'hui l'une des causes majeures de mortalité dans le monde.

De l'hydrogène vert produit à partir de soleil et d'eau

Produire des carburants solaires par des procédés photo-électrochimiques performants et peu coûteux est un objectif pour la transition écologique. Des chercheurs du LCBM (Laboratoire de chimie et biologie des métaux - Université Grenoble Alpes/CNRS/CEA) et de la Friedrich Schiller University Jena (Allemagne) ont relevé ce défi pour la production d'hydrogène selon une démarche de photosynthèse artificielle : ceci en concevant des photocathodes qui intègrent des catalyseurs de cobalt couplés à des colorants organiques photosensibles. Ils montrent également comment lever les verrous qui limitent l'exploitation de ces systèmes à grande échelle.



Les cellules photo-électrochimiques à colorant (DSPEC) permettent de produire de l'hydrogène vert à partir d'eau et d'énergie solaire. Aussi font-ils actuellement l'objet d'intenses efforts de recherche. Ces dispositifs, qui bénéficient des avancées technologiques du photovoltaïque, utilisent des photosensibilisateurs et catalyseurs moléculaires immobilisés à la surface d'électrodes transparentes. Leur fonctionnement repose sur l'action combinée d'une photo-anode laquelle, sous irradiation, catalyse l'oxydation de l'eau en dioxygène O, libérant 4 protons et 4 électrons qui se recombinent ensuite à la photocathode pour

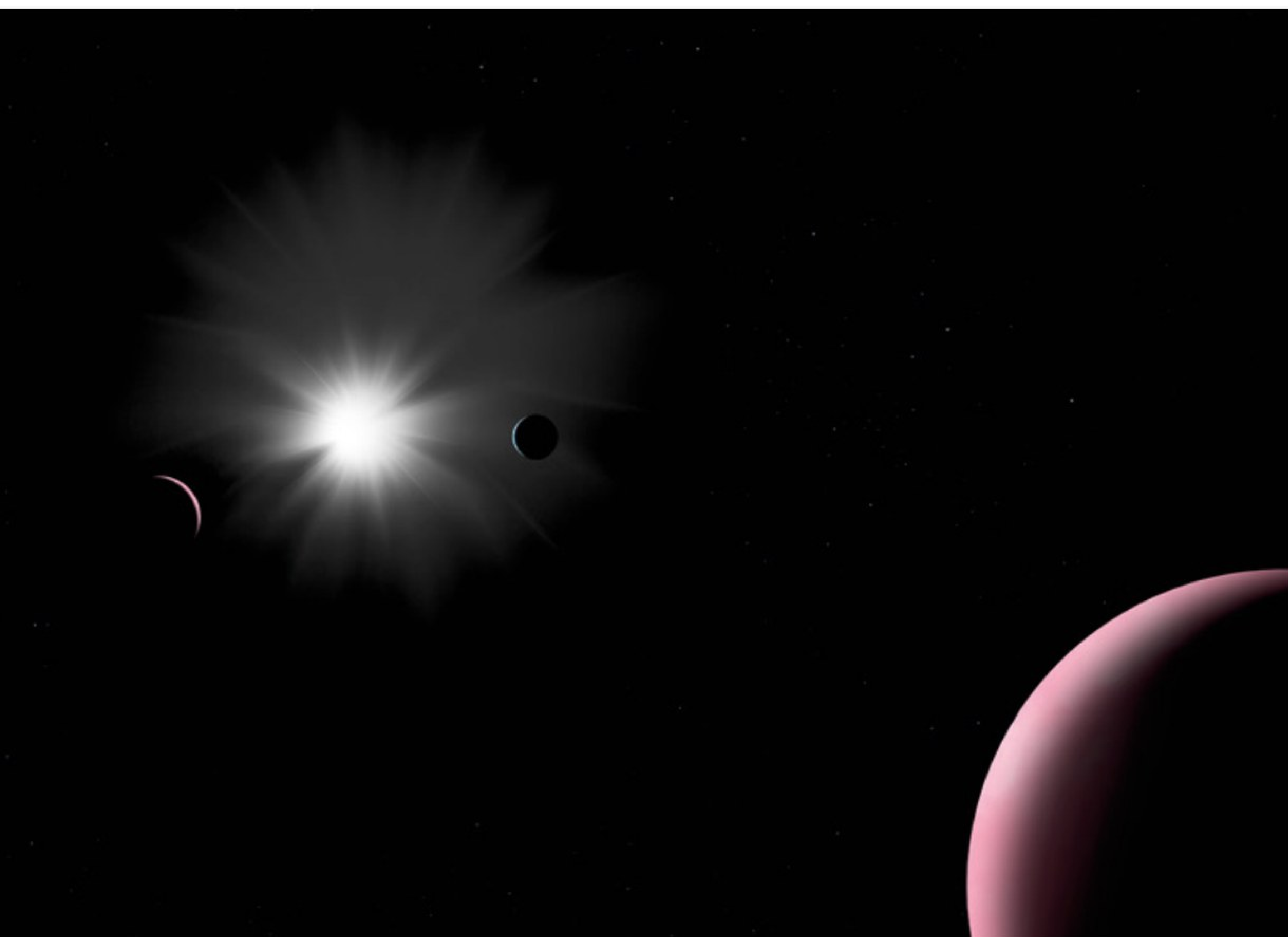
produire le di-hydrogène H. Malheureusement, les photocathodes à colorant décrites à ce jour se situent bien en deçà des photoanodes analogues, tant en termes de densité de courant que de stabilité, ce qui limite le développement de ces dispositifs.

L'équipe grenobloise de chercheurs vise par ses travaux à développer des systèmes photo-électrochimiques bio-inspirés pour la production d'hydrogène qui s'affranchissent des métaux rares comme le platine. Dans ce cadre, elle a récemment mis au point un nouveau couple colorant organique-catalyseur de cobalt, un élément abondant et peu couteux de la première série. La photocathode qui en découle produit efficacement de l'hydrogène pendant 4 heures avec un rendement de 70%, ce qui en fait un des exemples les plus performants à ce jour. Cependant, les courants enregistrés demeurent faibles et décroissent rapidement au cours du temps.

Grâce à une collaboration de longue date avec la Friedrich Schiller University Jena, les chercheurs se sont appuyés sur une combinaison unique d'études spectroscopiques pour identifier les paramètres limitant l'activité photo-électrocatalytique et la stabilité de ces photocathodes. Même si la formation de l'espèce catalytiquement active Co^{I} a été observée à la surface de l'électrode, le manque d'efficacité du transfert d'électrons du colorant photosensible vers le catalyseur et sa dégradation intrinsèquement associée sont les principaux verrous qui limitent les performances de ce système photo-électrocatalytique.

Ces travaux ouvrent la voie vers une conception plus rationnelle de photocathodes moléculaires pour la production de carburants solaires, ainsi que la mise au point de procédés durables pour la production d'hydrogène vert à partir de soleil et d'eau.

Une exoplanète « photobombe » !


© UNIGE ESA

Les « photobombes » sont des incidents provoqués par quelque chose ou quelqu'un qui entre par surprise dans le champ de vision d'un appareil photo. Mais il est extrêmement rare qu'il s'agisse d'une planète entière ! Et cette exoplanète révèle des détails rares et sans équivalent connu.

CHEOPS, le télescope spatial dirigé par les universités de Genève (UNIGE) et de Berne (UNIBE) et les membres du Pôle de recherche national PlanetS, prenait des photos d'un système planétaire situé à 50 années-lumière, situé dans la constellation du Loup. Autour d'une étoile appelée *Nu2 Lupi*, visible à l'oeil nu (mais pas depuis la Suisse), des astronomes helvétiques avaient annoncé en 2019 la détection de 3 exoplanètes. Leurs masses sont comprises entre celles de la Terre et de Neptune (17 fois la Terre) et les planètes mettent 12, 28 et 107 jours pour faire le tour de l'étoile. L'intérêt est que l'on peut voir ces planètes passer juste devant leur étoile : on dit qu'elles « transitent ». Du moins pour ce qui concerne les deux planètes intérieures. Mais la troisième planète étant assez éloignée de l'étoile, personne ne s'attendait à voir son transit.

C'est la première fois qu'une exoplanète avec une période de révolution de plus de 100 jours - ce qui correspond à une distance de l'étoile entre celles de Mercure et de Vénus par rapport à notre Soleil - peut être repérée autour d'une étoile suffisamment brillante pour qu'elle soit visible à l'œil nu. Comme sa période est relativement longue, la quantité de rayonnement stellaire atteignant la planète est faible par rapport à la plupart des exoplanètes connues. Et moins une planète reçoit de rayonnement, moins elle change au fil du temps. Une planète suffisamment loin de son étoile pourrait donc avoir conservé plus d'informations sur son origine. Les quelques exoplanètes de ce type découvertes jusqu'à aujourd'hui par les astronomes tournent autour d'étoiles peu lumineuses, les rendant difficiles à étudier. Pas cette fois: *« comme son étoile hôte est brillante et assez proche de nous, elle est plus facile à analyser. Cela en fait une cible en or pour une étude future, sans équivalent connu »*, explique David Ehrenreich, professeur à l'UNIGE et scientifique de la mission CHEOPS.

Bora Bora et Tupai



© ESA/NASA–T. Pesquet

Thomas Pesquet a pris de nombreux clichés de la Polynésie française en juillet 2021, durant sa seconde mission à bord de l'ISS. Sur les réseaux sociaux, il commentait : ***« Ia ora na ! Le Pacifique est immense et notre trajectoire ne nous amène que rarement pile au-dessus de la Polynésie française ; mais quand c'est le cas, c'est immanquable !! Il y a une bonne raison pour que le "bleu des mers du sud" s'appelle comme ça… »***

Et il ajoutait : ***« la Polynésie est évidemment aux premières loges du changement climatique, et touchée d'une manière bien différente qu'en métropole. Comme pour la Grande Barrière au large de l'Australie, c'est le blanchissement du corail qui symbolise la surchauffe. On m'a parlé d'initiatives de jeunes Polynésiens pour replanter le corail… »*** **L'astronaute français est très engagé dans la lutte contre le réchauffement climatique.**

L'Antarctique, un co
à la science



ntinent dédié



Etendu sur 14 millions de km², soit plus que l'Europe entière, l'Antarctique est un continent demeuré vierge et sauvage, réservé à la nature et à la science. Depuis 30 ans, le Protocole de Madrid interdit en effet son exploitation autrement qu'à des fins scientifiques. Car ce continent représente un lieu unique sur Terre pour pouvoir conduire des recherches tant sur l'impact du changement climatique que sur les poussières extraterrestres ou sur l'histoire de notre planète.

Dans ce véritable laboratoire naturel, les scientifiques en hivernage 6 mois chaque année profitent de l'absence de bruit, de pollution lumineuse, d'une biodiversité extraordinaire, enfin de conditions exceptionnelles pour mener leurs recherches.

À l'Exposition universelle de Dubaï, qui se tiendra d'octobre 2021 à mars 2022 et dont le thème est «Connecter les esprits, construire le futur», le CNRS représente la science française et a fait le choix de parler de l'Antarctique. Un thème approprié pour le CNRS dont la vocation consiste à repousser toujours plus loin les frontières de la connaissance. Et, étant donné la myriade de recherches conduites *in situ*, ce territoire peut être évoqué comme un endroit où se bâtit le futur.

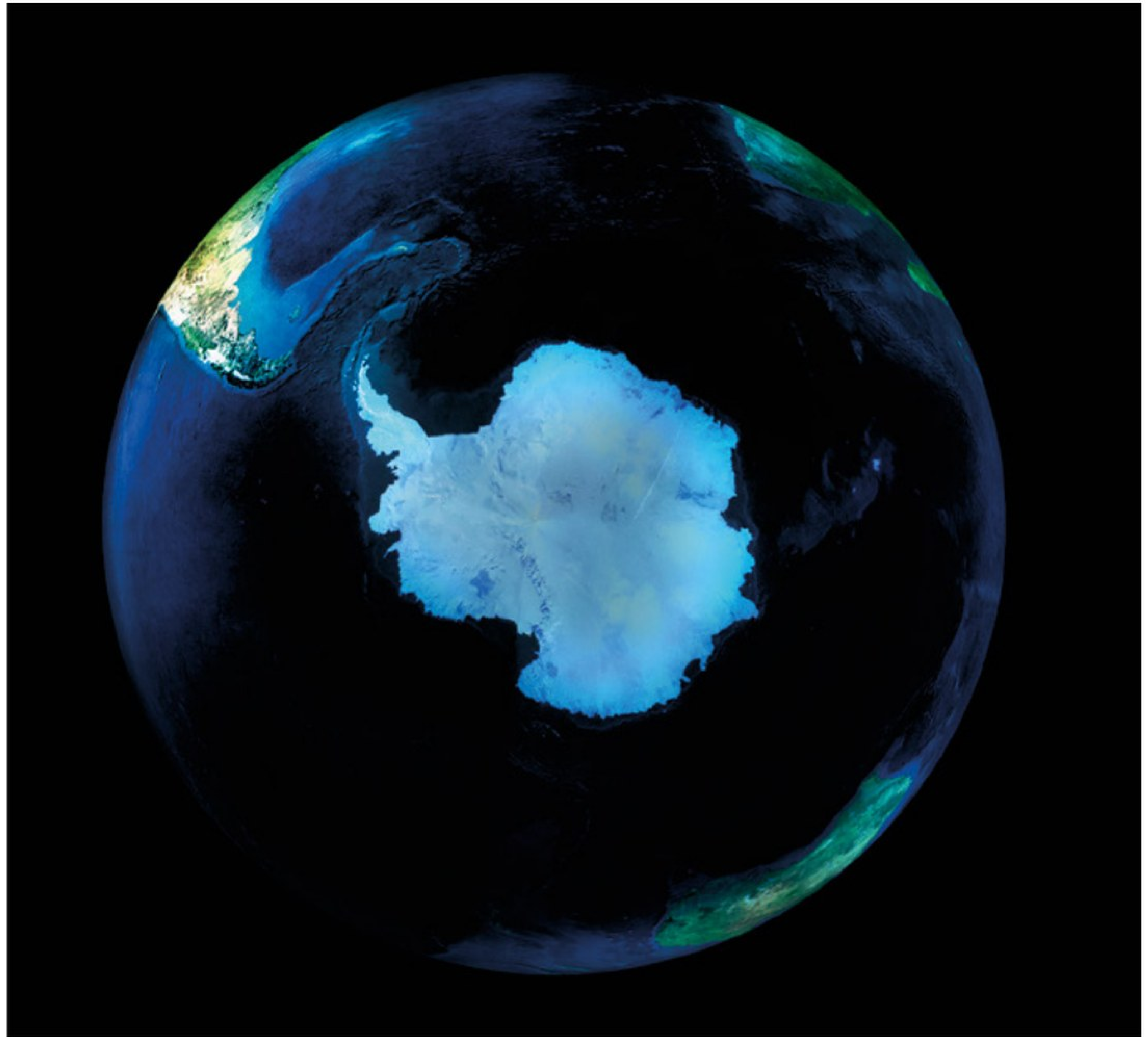
À l'occasion de la 43e Réunion consultative du Traité sur l'Antarctique (RCTA), présidée par la France, et des 30 ans du protocole de Madrid, le CNRS et l'Institut polaire français nous présentent des avancées scientifiques récentes et des projets de recherche sur ce continent blanc.

La France, une puissance polaire

« La France se positionne comme un acteur majeur en Antarctique », souligne Antoine Petit, président-directeur général du CNRS, *« et on peut insister sur la qualité de la recherche qui y est conduite »*. Sur ce continent, 76 stations de recherche sont opérées par 31 états parties. La France est le seul pays de l'Union Européenne qui maintient en fonctionnement en permanence deux stations : Dumont d'Urville et Concordia (cogérée avec l'Italie). Les conditions extrêmes de ces régions du monde ont un certain nombre d'avantages, permettant de mener des recherches dans des configurations extraordinaires, que ce soit en écologie, réchauffement climatique, glaciologie, astronomie, sismologie... Ces domaines sont étudiés dans une démarche de coopération internationale.

Antoine Petit a eu l'occasion de se rendre en Antarctique, et il a bien sûr été frappé par la beauté, l'immensité, le caractère exceptionnel de ce territoire. *« On a conscience que la planète est fragile, qu'il faut la préserver, mais aussi continuer à la comprendre car il y a énormément de choses qu'on ne sait pas »*. L'Antarctique offre des territoires pour comprendre la planète, mais aussi l'univers (avec les études sur les micrométéorites, présentées plus loin). C'est une terre de science, y compris sur des sujets qu'on n'attend pas forcément...

Les hivernages à la station Concordia, avec 6 mois plongés dans la nuit, sont rudes. Comme le souligne Antoine Petit, président du CNRS : *« la station est juste un peu plus grande qu'une station spatiale » !*



Le continent blanc est unique dans bien des domaines.

L'Antarctique restera-t-il préservé ?

Le continent blanc est le seul au monde à n'appartenir à aucun pays. Des traités internationaux assurent sa protection afin qu'il reste un territoire de science et d'activités pacifiques.

Anne Choquet, juriste à Brest Business School et chercheuse associée au laboratoire Aménagement des usages des ressources et des espaces marins et littoraux (CNRS/Ifremer/IRD/ Université de Bretagne Occidentale), est également experte juridique au sein de la délégation française de la RCTA. Elle nous explique les enjeux de cette protection.

« Du point de vue du droit, on ne va pas gérer de la même manière les deux régions polaires, l'Arctique étant un océan et l'Antarctique un continent » note la juriste. Mais dans les deux régions, il y a la présence d'États. En Arctique, les pays n'ont pas de prétentions territoriales et se comportent comme des états côtiers. Tandis qu'en Antarctique, il peut y avoir de telles prétentions.

Aussi a-t-il fallu créer un traité assez exceptionnel, le traité sur l'Antarctique signé à Washington en 1959. Afin de stopper toutes prétentions territoriales, il a établi un gel de la situation de 1959. Sept états avaient alors des prétentions, appelés états possessionnés : l'Argentine, l'Australie, le Chili, la France, la Nouvelle-Zélande, la Norvège et le Royaume-Uni. De 12 états signataires au départ qui s'étaient livrés à des activités scientifiques, 54 ont aujourd'hui accepté le Traité, qui sont ou non parties consultatives. Lors des réunions consultatives annuelles, toutes les décisions sont prises au consensus, ce qui facilite leur mise en œuvre.

Sur la base de ce traité, les états ont choisi de coopérer et de prendre de nouvelles mesures complémentaires telles la Convention pour la protection des phoques en 1972, ou encore la



Le tourisme en Antarctique se développe et nécessite une reglémentation.

Convention sur la conservation de la faune et de la flore marines en 1980.
Le traité implique que l'Antarctique est réservé aux seules activités pacifiques, pas uniquement scientifiques. Mais suite au Protocole de Madrid sur la protection de l'environnement en 1991, la priorité est accordée à la recherche scientifique étant donné le grand intérêt de la région Antarctique dans ce domaine. Ce Protocole interdit l'exploitation des ressources minérales, sauf à des fins scientifiques donc.

Quelles inquiétudes peut-on avoir aujourd'hui au niveau de l'exploitation pétrolière ou minière sur ce continent ? Car on sait depuis longtemps qu'il existe des ressources minérales dans le sous-sol. Le protocole de Madrid a interdit ces activités jusqu'en 2048. Anne Choquet explique que des problèmes importants de transport maritime se poseraient d'ailleurs, des risques de pollution marine (comme cela fut le cas avec la marée noire causée par l'échouage de l'Exxon Valdez sur les côtes de l'Alaska). Mais elle note que, pour lever l'interdiction en 2048, il faudrait un consensus. Ce qui serait certainement difficile à obtenir.
Autre problématique régulièrement étudiée lors des Réunions consultatives du Traité sur l'Antarctique : la question du tourisme. Ce dernier tend à se développer en quantité (il est estimé à environ 70 000 personnes pour la saison 2019-2020) et en diversification des activités. Tourisme de croisière, mais aussi kayak, plongée, etc. *« Il va falloir gérer ces activités et réfléchir à l'adoption de règles pour l'encadrer, en évaluant les risques pour la sécurité humaine et pour la protection de l'environnement.* » En tant qu'activité pacifique, il n'est cependant pas question de l'interdire.



Grâce au traité de l'Antarctique, le continent est préservé de toutes prétentions territoriales.

Quid du tourisme ?

Comme le remarque Laurent Chauvaud, écologue et biogéochimiste au CNRS, *« pour des problèmes d'éolien offshore notamment, la France s'intéresse beaucoup à l'impact du bruit sur les animaux en mer. »* Or on sait que de nombreux animaux marins utilisent le son dans leurs cycles biologiques (pour la reproduction, le repérage de l'endroit où se métamorphoser, etc.). L'introduction de bateaux de tourisme engendrerait une pollution sonore, et ses impacts potentiels restent à préciser et à mesurer car ils risqueraient de changer les conditions de vie sous-marines.

Remonter l'histoire de la Terre sur 800 000 ans !

L'Antarctique, tout comme l'Arctique, représente une région idéale pour remonter dans le temps. Il permet d'accéder aux archives glaciaires, soit des carottes de glace forées au travers de grands glaciers : c'est le seul outil pour reconstituer les climats du passé, y compris la composition de l'atmosphère.

Aussi de nombreux projets de carottages ont eu lieu sur ce continent immense. Jérôme Chappellaz, glaciologue au CNRS à l'Institut des géosciences de l'environnement - (CNRS/IRD/Université Grenoble Alpes) et directeur de l'Institut polaire français, nous présente le principal d'entre eux : le projet européen Epica.



Au niveau logistique, toute expédition antarctique demeure complexe.

Ce projet s'est déroulé sur le site de Concordia et a donné accès à 800 000 ans d'archives climatiques et de composition de l'atmosphère. Les données recueillies sur l'évolution sur la température montrent des successions de périodes chaudes et de périodes froides, les périodes interglaciaires et les glaciations, qui se succèdent environ tous les 100 000 ans. On observe une évolution concomitante de la quantité de dioxyde de carbone et de méthane dans l'atmosphère, deux principaux gaz à effet de serre contribuant à l'évolution du climat. Les scientifiques ont ainsi montré que l'évolution des gaz à effet de serre dans l'atmosphère amplifie l'évolution naturelle du climat. Environ la moitié de l'amplitude des variations de température est due à cet effet amplificateur de l'évolution des gaz à effet de serre.
Les résultats de l'étude ont montré également que la quantité de ces gaz à effet de serre dans l'atmosphère aujourd'hui est très largement au-dessus des niveaux observés sur les derniers 800 000 ans.

En 2019 a démarré le projet européen Beyond Epica qui s'étend sur 7 ans. *« Nous avons souhaité remonter plus loin, sur 1,5 million d'années, notamment pour comprendre une transition climatique majeure qui a eu lieu il y a environ 1 million d'années »* explique Jérôme Chappellaz. Les carottages indiquent les courbes de dioxyde de carbone et de température, tandis que les sédiments marins renseignent sur le volume de glace recouvrant les continents. *« On peut observer que la rythmicité était auparavant de l'ordre de 40 000 ans entre chaque glaciation, et non de 100 000 ans, avec une période de transition entre 900 000 et 1,2 million d'années. »* On suppose que cette évolution est due à la quantité de gaz à effet de serre présents naturellement dans l'atmosphère. Mais ces mesures à partir des sédiments marins ne reflètent pas exactement la composition de l'atmosphère et présentent de grandes incertitudes. Aussi s'agit-il aujourd'hui d'accéder directement à ces informations sur la sensibilité climatique.

Mais ces carottes de glace ne fournissent pas uniquement des données sur les gaz à effet de serre (et leurs isotopes qui permettent de connaître les causes de leur évolution). Elles renseignent aussi sur les températures et les précipitations en Antarctique au-delà de 800 000 ans, l'origine de la vapeur d'eau ayant amené à la fabrication de la neige puis de la glace, l'altitude de la calotte de glace, les conditions de la glace de mer dans un monde à 40 000 ans, l'histoire de l'érosion continentale (qui pourrait expliquer cette bascule entre un monde à 40 000 ans et un monde à 100 000 ans), la température moyenne de l'océan mondial en mesurant les gaz rares, et les anomalies magnétiques grâce aux isotopes des gaz rares.

Pour effectuer ces carottages, il a fallu déterminer en quel endroit trouver de la glace suffisamment ancienne pour remonter à 1,5 million d'années. *« On a focalisé sur deux zones : le dôme Fuji, où les Japonais ont carotté il y a quelques années, et autour de la station Concordia. »*

Les conditions requises sur le site sont les suivantes : une faible accumulation de neige, une faible vitesse d'écoulement du glacier pour que ses couches internes ne se déforment pas, l'absence de fusion à la base du glacier qui ferait fondre les couches sédimentaires, et biensûr des résultats de la modélisation de l'écoulement du glacier favorables.

De 2016 à 2019, des campagnes radars extrêmement détaillées, à résolution sub-kilométrique, ont été menées pour trouver où forer. Le site retenu fut le Petit Dôme C, près de Concordia. Des campagnes radars ont permis de déterminer que le socle rocheux sous le glacier se situe sous 2500 à 3000 mètres d'épaisseur de glace.

Restait à mettre le projet en œuvre. Du point de vue de la logistique, toute expédition antarctique demeure complexe. *« Il s'agit d'amener les chercheurs, les techniciens et le matériel sur place, au milieu de nulle part (à 1100 km à l'intérieur des terres), à 3200 m d'altitude »*. Depuis l'Europe jusqu'à la Nouvelle-Zélande et l'Australie (qui sont les portes d'entrée), on met 50 à 60 jours par mer pour amener le matériel, et 3 jours par les airs pour les personnels.

Ensuite, ce matériel et ces personnels sont transportés jusqu'en Antarctique avec différents moyens : des avions équipés de roues ou de skis, ou des navires ravitailleurs. L'arrivée s'effectue sur la côte à la base Dumont d'Urville ou à la station italienne Mario-Zucchelli. Puis, la dernière partie du voyage consiste en un convoi terrestre lourd qui met 11 jours pour rejoindre Concordia pour ce qui concerne le matériel, tandis que les personnels rejoignent la station à bord d'avions équipés de skis.

Six campagnes d'été de 70 jours chacune sont menées dans le cadre de ce projet. Des carottages sont réalisés et les premières analyses effectuées. Rendez-vous en 2025 pour les premiers résultats scientifiques.

Comprendre le langage des phoques

Autre sujet qui passionne les chercheurs : la communication chez les mammifères. Et pour cela, les phoques présentent nombre d'avantages... Isabelle Charrier, bioacousticienne au CNRS, à l'Institut des neurosciences Paris-Saclay, étudie notamment les communications vocales entre les mères et leurs petits. Le projet est développé avec Jean Benoît Charassin, directeur du laboratoire LOCEAN (MNHN/Sorbonne Université).



Le phoque de Weddell est particulièrement communiquant.

« Les pinnipèdes (phoques, otaries, morses, lions de mer) constituent un modèle de mammifère très intéressant pour étudier la communication acoustique car il dispose d'une très grande diversité de vocalisations lors de très nombreuses interactions sociales, que ce soit pour le soin aux jeunes, la défense territoriale, l'alerte aux prédateurs » note Isabelle Charrier. *« Il présente aussi une diversité dans les structures sociales. »* Cela se traduit par des espèces relativement solitaires et d'autres très coloniales avec des centaines de milliers d'individus qui se regroupent à terre pour la reproduction. On observe par conséquent des différences dans les systèmes de reproduction : des espèces sont monogames, alors que chez d'autres espèces les mâles se reproduisent avec une vingtaine de femelles chaque année.

Les recherches portent sur les phoques de Weddell. Elles font partie d'un programme plus large destiné à comprendre les relations entre les structures sociales et les stratégies de communication. À savoir quelles sont les adaptations développées pour répondre aux contraintes sociales et environnementales.

Le phoque de Weddell vit en petits groupes, les femelles allaitent leurs petits sur une courte durée allant de 4 et 6 semaines. Pendant cette période, les mères s'absentent de manière très brève pour se nourrir dans l'océan. À partir de 2 semaines, elles attirent leurs petits dans l'eau pour leur apprendre à se nourrir. *« Il y a donc un contact quasi permanent entre les mères et leurs petits pendant 6 semaines : ont-ils des échanges vocaux afin de maintenir ce contact ? »*

La production vocale sous-marine des phoques de Weddell est très soutenue, mais

elle était jusqu'à présent attribuée aux mâles dans le cadre de la défense de leur territoire sous la glace. Les chercheurs voulaient savoir si les femelles avaient un répertoire vocal important également. *« Pour cela, nous avons mené une étude pilote en 2017 au cours de laquelle nous avons déployé, sur 3 femelles allaitantes, une petite balise acoustique pour obtenir des profils de plongée et des données environnementales sur l'océan. »* Cette balise permet également d'obtenir des enregistrements des vocalisations, de la mère mais aussi de son petit, quasiment en direct. *« On a pu observer une continuité dans la communication, les cris produits sous l'eau étant similaires à ceux produits en milieu aérien, ainsi qu'une diversité dans la gamme de fréquences, avec des vocalisations parfois très aiguës, et divers échanges vocaux entre les mères et leurs petits »* remarque Isabelle Charrier.

Reste à découvrir la fonction de ces vocalisations sous-marines. Le prochain projet consistera à déterminer s'il y a une reconnaissance vocale entre les mères et les jeunes, si elle est aussi performante en milieu aérien, et à mieux comprendre à quoi servent ces vocalisations sous-marines et dans quel contexte particulier elles sont produites (face aux prédateurs, entre mères, entre mères et petits...). En plus de l'hydrophone qui permet l'enregistrement des sons, la balise donne également des indications sur la profondeur et la température.

Pour la prochaine étude, une caméra vidéo s'y ajoute afin d'associer la production vocale avec un comportement particulier : on connaîtra ainsi la fonction et le contexte des vocalisations... pour « comprendre » le langage des phoques.

Des animaux témoins ou espions pour mieux connaître l'océan

Au niveau environnemental également, l'Antarctique représente un terrain d'étude intéressant. Des balises posées sur certaines espèces permettent d'obtenir une image de l'écosystème.

Ecologue au CNRS, au Centre d'études biologiques de Chizé (CNRS/La Rochelle Université), Yan Ropert-Coudert dirige le projet AMMER - Les manchots Adélie bioplateformes de l'environnement marin, soutenu par l'Institut polaire français. Son objectif : établir un suivi au long terme des performances de reproduction et de prospection alimentaire en mer d'espèces éco-indicatrices des changements environnementaux, comme les manchots.



Les manchots : une espèce éco-indicatrice des changements environnementaux.

Pour étudier un écosystème, la première chose à faire est d'évaluer et de quantifier la biodiversité. Par exemple, l'Atlas biogéographique de l'océan Austral présente plus de 9000 espèces, dont 600 qui n'avaient jamais décrites. Mais cet Atlas a requis près de 15 ans de recherche de la part des scientifiques de plusieurs pays. Or la biodiversité est très dynamique : il fallait donc trouver d'autres manières de procéder.

« Par exemple, on peut étudier la chaîne trophique, soit les relations proies-prédateurs entre les différentes espèces, et s'intéresser aux espèces qui sont au sommet : les prédateurs supérieurs » explique Yan Ropert-Coudert. *« Ceux-ci ont intégré tous les changements environnementaux ou autres. Ces prédateurs reviennent régulièrement à terre pour se reproduire, muer, se reposer, etc. Il est donc possible de les équiper avec des balises. »*

Le chercheur souligne que le suivi des populations est véritablement une spécialité française. Le CNRS a de nombreux observatoires

Des animaux mystérieux

Si Yan Ropert-Coudert, écologue au CNRS, insiste sur la nécessité de créer un réseau d'aires marines protégées tout autour de l'Antarctique, et ce avant que les écosystèmes soient trop impactés, c'est parce que les espèces de l'Antarctique vivent sur de vastes distances. *« Lors des phases de migration, les oiseaux par exemple peuvent couvrir de 3000 à 4000 km. »*

De plus, seules des aires protégées offriront aux scientifiques les conditions favorables pour étudier ces espèces encore bien mystérieuses. *« Il y a tant de choses à découvrir sur ces animaux dont on connaît mal la biologie, la symbiose dans la pénombre, la façon dont ils ont pu survivre aux glaciations »*, observe le chercheur.

dédiés, qui accumulent un grand nombre de données et donnent une image de l'écosystème dans le temps. Par exemple, le suivi de la population des manchots empereurs est effectué depuis 1952 à Dumont d'Urville et a généré une base de données unique. Des simulations sont réalisées en utilisant les scénarios du GIEC, lesquels donnent une idée du changement à venir des conditions environnementales, ce qui permet de concevoir des scénarios sur l'évolution possible de la population des manchots. *« La plupart de ces scénarios ne sont pas vraiment positifs pour les manchots, même si certains suggèrent que leur population pourrait se maintenir si l'on arrive à diminuer l'impact du changement climatique sur l'ensemble de la planète. »*

Des groupes de recherche internationaux s'intéressent aux modèles français, essaient de les appliquer sur leurs populations de manchots empereurs, donnant ainsi une vision de la situation globale sur les 100 prochaines années. *« Certaines populations sont gagnantes et d'autres perdantes. Certaines études ont montré que, si on arrive à rester dans l'Accord de Paris sur la réduction des gaz à effet de serre, certaines populations seraient moins impactées. »*



La plupart des scénarios pour le futur ne sont pas vraiment positifs pour les différentes expèces de manchots.

Comment s'effectue pratiquement le suivi des animaux ? En mer, comme nous l'avons vu pour les phoques de Weddell, des balises souvent miniatures sont fixées sur eux : on appelle cela le bio-logging. Ces balises donnent un résumé de leur activité de prospection en mer, notamment alimentaire. Des données sont accumulées chaque année sur une espèce, montrant comment elle réagit selon l'état de la glace. Cette pratique s'est beaucoup développée internationalement et l'analyse rétrospective des données de tracking permettent de couvrir l'ensemble de l'océan Austral.
On a pu ainsi observer que, dans certaines zones, toutes les espèces sont présentes pour venir se nourrir. Comme les prédateurs ont des besoins différents (certains se nourrissent de poissons, d'autres de crevettes, etc.), cela signifie la présence dans ces sites de nombreuses espèces qu'ils consomment. De cette manière sont repérées des zones écologiquement importantes où une protection plus grande est nécessaire. Certaines d'entre elles sont proposées pour devenir des aires marines protégées.

Autre domaine de recherche pour lequel la pose de balises est utile : l'acquisition de données difficiles à obtenir en milieu marin. Par exemple, un éléphant de mer peut réaliser des trajets sur 2000 kilomètres, des îles Kerguelen jusqu'à l'Antarctique, avec des plongées allant jusqu'à 2000 mètres de profondeur ! La balise enregistre à cette occasion des paramètres sur la température et la salinité de l'océan, permet d'établir des cartes de chorophylle sur de grandes distances et en 3D. Avec des sonars actifs, il est possible aussi de reconstruire les proies rencontrées. 80% des profils océanographiques au sud de 60° de latitude sud sont ainsi échantillonnés par des phoques austraux ! Cela permet donc de complémenter efficacement toutes les mesures effectuées classiquement par des bateaux ou par des bouées.
Enfin, des balises posées sur certaines espèces permettent de lire le système AIS des bateaux : un procédé très performant pour connaître leur identité et leur position et effectuer leur suivi. Des albatros ainsi équipés détectent les pêcheries illégales dans l'océan Austral...

Le seul endroit sur la planète pour étudier « l'extraterrestre »

Protégé de la pollution terrestre par de vastes océans, le continent Antarctique est un endroit fabuleux pour étudier les micro-météorites provenant de l'espace interstellaire. Depuis plus de 20 ans, à Dôme C (près de la base Concordia), des poussières extra-terrestres sont recueillies et analysées. Ces études d'astrophysique sont très liées aux missions spatiales relatives aux astéroïdes et aux comètes : elles permettent l'interprétation des données recueillies *in situ*.

Cosmochimiste au CNRS, à l'Institut de minéralogie, de physique des matériaux et de cosmochimie (CNRS/Museum national d'Histoire Naturelle/ Sorbonne Université), Jean Duprat dirige ce programme de collecte en Antarctique. Une collection unique au monde de micrométéorites d'origine astéroïdale et cométaire a été ainsi constituée, dans un état de conservation inégalé sur Terre.



Grâce aux conditions particulières du continent antarctique, éloigné de toute pollution, les poussières extraterrestres recueillies sont intactes.

Les astéroïdes proviennent de la ceinture située entre les orbites de Mars et Jupiter. Les premiers échantillons carbonés ont été ramenés et étudiés récemment par la mission Hayabusa 2 de la JAXA, l'agence spatiale japonaise, laquelle en a transmis à la France dans le cadre d'un travail collaboratif international. Il s'agit d'analyser la matière carbonée organique qui est à leur surface, les minéraux, et essayer de mieux comprendre la formation et l'évolution du système solaire. En effet, ces petits corps permettent d'étudier des matériaux très anciens qui n'ont pas bougé depuis la formation du système solaire, il y a 4,5 milliards d'années.
Pour leur part, les comètes sont des objets glacés situés au-delà de Neptune. Elles ont été étudiées par les missions Stardust et Rosetta. Aujourd'hui la mission de la NASA New Horizons explore ces corps très lointains.

Sur ce continent blanc d'une extrême propreté, les poussières recueillies sont intactes. Dôme C, situé loin dans les terres, est totalement protégé des poussières terrestres et représente une salle blanche naturelle avec plus de 3 km de glace au-dessus de la roche et un régime de vent dominant qui souffle de l'intérieur des terres vers la côte. *« C'est quasiment le seul endroit de la Terre où une telle chose est possible »* observe Jean Duprat. *« Depuis 20 ans, nous y collectons de la neige, nous la fondons, nous la filtrons, et l'essentiel des poussières retrouvées est d'origine extraterrestre. »* En ce lieu, ces poussières sont particulièrement bien préservées. Car si ces grains tombent un peu partout sur la Terre, leur fragilité fait qu'ils sont généralement détruits aussitôt. *« On s'interroge d'ailleurs sur la façon dont ils ont pu survivre à l'entrée dans l'atmosphère. »*

L'étude peut aller jusqu'au nanomètre pour les analyses les plus fines, et des techniques de pointe sont utilisées sur des instruments de laboratoire ou de grands instruments comme le Synchrotron Soleil, à Orsay. En observant ces grains, les chercheurs arrivent à voir la composition de la matière extraterrestre, la diversité de la matière primitive du système solaire, et en particulier ils parviennent à trouver des phases qui datent de la naissance du système solaire, au moment où les planètes n'existaient pas encore. Ces poussières proviennent du disque de poussière et de gaz qui entouraient notre étoile. Certains grains datent même d'avant la naissance du Soleil ! *« En remontant dans le temps, on essaie donc de comprendre la matière dont les planètes et nous-mêmes sommes issus. »*

Les scientifiques tombent parfois sur des objets auxquels ils ne s'attendaient pas, comme

Une présence extraterrestre importante !

Le travail des chercheurs en Antarctique a récemment permis de mesurer le flux des micrométéorites sur Terre, estimé à 5200 tonnes par an. Ces micrométéorites représentent le principal apport de matière extraterrestre sur notre planète.

par exemple des micrométéorites ultra carbonées, composées essentiellement de matière organique (carbone, hydrogène, azote). Ce sont des molécules assez complexes qui, après des années d'étude, sembleraient provenir de la surface d'objets glacés et qui auraient été formées par l'irradiation de la glace de ces objets très lointains (étudiés actuellement par la sonde New Horizons). *« Ce serait de la matière très primitive qui tombe en permanence sur les planètes mais dont on n'aura jamais l'occasion de ramener des échantillons étant donné la distance de ces objets. »*

Une collection unique au monde est aujourd'hui constituée, de milliers de grains tous catalogués : elle représente un outil de travail remarquable. Cette collection va rejoindre le Muséum National d'Histoire Naturelle qui détient sa collection de météorites provenant d'astéroïdes mais également de planètes (Mars) et de la Lune. L'objectif est de regrouper l'ensemble des collectes dans un Centre national de conservation d'échantillons extraterrestres. *« Cela sera extrêmement utile dans les années à venir lorsque nous réceptionnerons des retours d'échantillons majeurs, martiens notamment, afin de les comparer les uns aux autres »* conclut le chercheur.

L'Antarctique choisi pour l'Exposition universelle de Dubaï

Au Pavillon France de l'Exposition universelle de Dubaï, le CNRS a donc choisi comme thème « Antarctique, un laboratoire du futur », une présentation conçue avec le soutien de l'Institut polaire français.

Laurent Chauvaud, écologue et biogéochimiste au CNRS, au Laboratoire des sciences de l'environnement marin (CNRS/Ifremer/IRD/Université de Bretagne Occidentale) est le commissaire de cette expérience Antarctique. Il nous en donne un aperçu.



L'animation, la biodiversité et les couleurs sous la surface des eaux contrastent avec la désolation des terres émergées.

Les astéroïdes proviennent de la ceinture L'expérience est immersive, faisant notamment intervenir des sons enregistrés lors des plongées en Antarctique de Laurent Chauvaud. Les travaux Antarctique sont présentés en insistant sur les contrastes. *« Un des contrastes les plus forts est la différence entre ce qui se passe sous l'eau et en dehors de l'eau, où tout est blanc, rude, inhospitalier. »* Des images du photographe naturaliste Laurent Ballesta illustrent cette opposition.

On pénètre dans l'exposition à -70 mètres de fond, dans la pénombre sous la banquise. *« Là, la biodiversité et la luxuriance sont extrêmement folles : on y voit les oiseaux et leurs proies, et toute une faune et une flore qui se développent à l'interface entre l'eau et le sédiment. »* Les ambiances et les paysages sous-marins se révèlent très divers et incomparables, et les couleurs variées comme celles des récifs tropicaux. Les eaux sont translucides, les roches magnifiques, la biodiversité riche et étonnante, la glace elle-même contient des espèces étonnantes. On y trouve des crustacés gigantesques avec des capacités particulières.

Le visiteur est surpris grâce à des images extraordinaires et des sons qui évoluent en remontant vers la surface et la lumière : des craquements de glace se fracassant sur les roches se superposent à des bruits de mammifères marins, des oiseaux plongent en surface, des phoques vocalisent... Le voyage se termine à plus de 3000 m d'altitude, à la station franco-italienne Concordia, là où ne règne plus que le souffle du vent. Cette plongée dans les recherches menées en Antarctique montre la beauté et le côté unique du continent blanc. Elle vise aussi à sensibiliser au fait que ce territoire de l'extrême peut aussi se révéler un laboratoire pour bâtir le futur.

Océan : un monde in



Au-delà de 200 mètres, dans l'obscurité des grandes profondeurs, un monde très méconnu reste à découvrir. Il recouvre pourtant 71% du globe !

croyable se dévoile



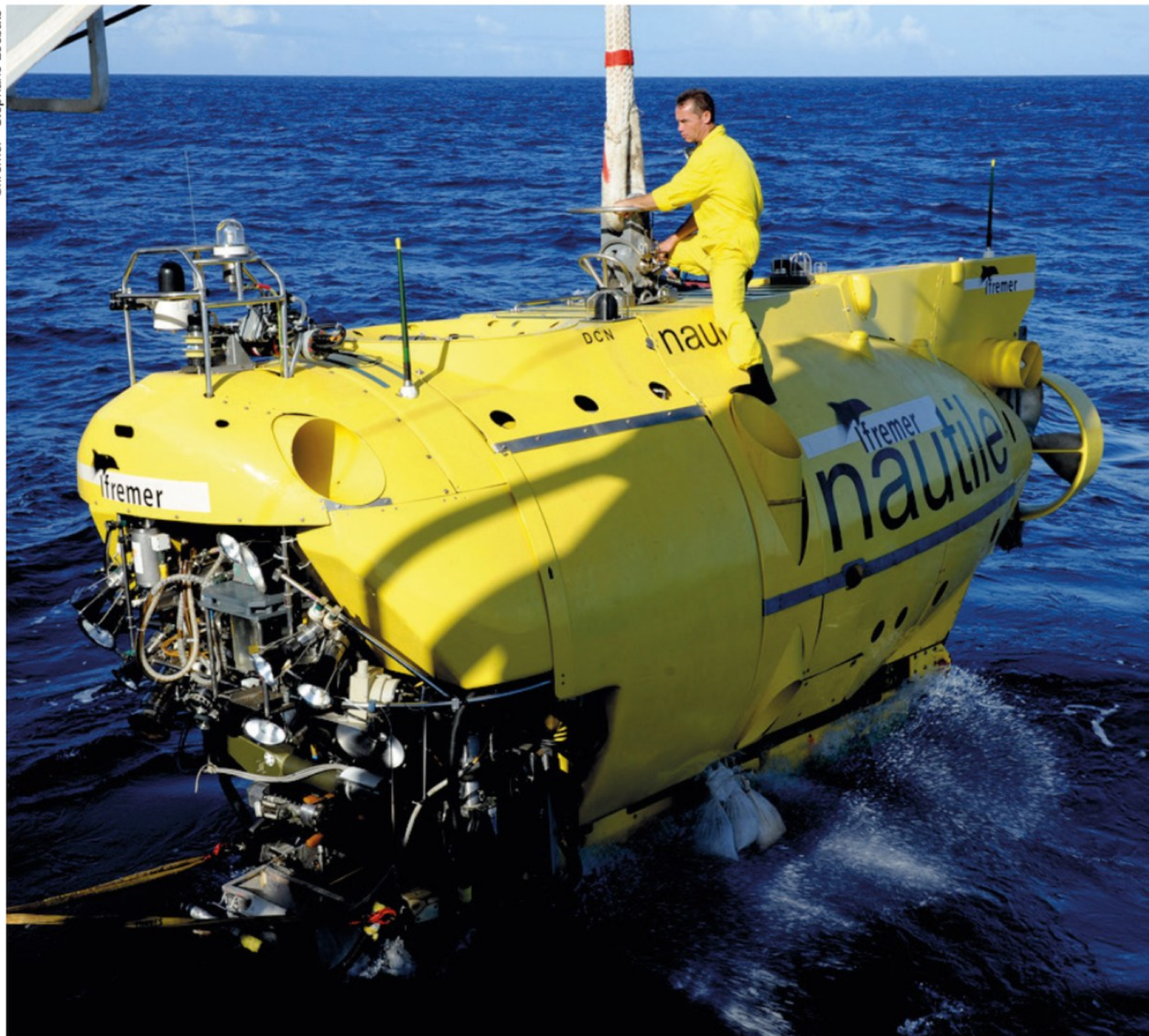
Un monde encore insoupçonné, le plus difficile d'accès de notre planète, vit dans les profondeurs immenses de l'océan. Avec l'exposition « Océan, Une plongée insolite », le Muséum national d'Histoire naturelle nous emmène pour un voyage merveilleux et surprenant à la découverte des créatures impressionnantes de ces milieux extrêmes, tout en nous sensibilisant à l'exploration océanique et aux menaces qui pèsent sur cet univers qui représente les trois quarts du globe.

Une exploration à hauts risques

On connaît aujourd'hui plus de détails de la surface de Mars que du fond de l'océan ! Comme l'explique le Muséum, cet univers est largement inexploré. En cause, son immensité mais aussi le fait qu'il représente pour les humains un milieu aux multiples contraintes : manque d'oxygène, obscurité, pression… Les scientifiques ont donc dû faire preuve d'ingéniosité pour rendre possible l'exploration sous-marine et partir à la découverte d'une biodiversité insolite.

Le froid, l'obscurité dès 200 m de profondeur, l'extraordinaire pression de l'eau (800 fois plus dense que l'air)... partir à la découverte du monde sous-marin se révèle d'une extrême complexité. Et pourtant, c'est un rêve qui remonte à l'Antiquité. Au XVIe siècle apparaissent les premières cloches de plongée. Depuis, les tentatives de conquête des profondeurs se sont succédé et des technologies toujours plus performantes ont été mises au point. On découvrira dans l'exposition des objets emblématiques : casque de scaphandre de 1859, maquettes du sous-marin Nautile et du robot téléguidé Victor 6000 de l'Ifremer.

©Ifremer - Stéphane Lesbats



Le sous-marin habité Nautile de l'Ifremer descend jusqu'à 6 000 mètres de profondeur.

Des millions d'espèces inconnues !

Explorer l'océan, c'est partir à la rencontre d'une incroyable biodiversité marine largement ignorée. Alors que l'on connaît environ 2 millions d'espèces sur terre et 235 000 espèces dans l'océan, on estime que 7 à 10 millions d'espèces sont encore inconnues parmi lesquelles 1,7 à 2,3 millions d'espèces marines.

Le Muséum national d'Histoire naturelle organise de nombreuses campagnes océanographiques à la découverte de nouvelles espèces marines, telle Tropical Deep Sea Benthos lancée en 1976 et qui a déjà décrit 3600 espèces nouvelles. Plus de 20% des espèces marines décrites dans le monde durant ces 10 dernières années l'ont été grâce aux campagnes du Muséum.

Mis en service en 1984, le Nautile est conçu pour descendre jusqu'à 6 000 m de profondeur. Pour protéger ses passagers de la pression, sa coque doit pouvoir résister sans se déformer à des forces d'environ 600 kg s'exerçant sur chaque centimètre carré de l'appareil ! Pour ce faire, la coque est sphérique et composée d'un alliage de titane très résistant. Capable de rester immergé durant 10 heures - dont 6 sur le fond -, il permet l'étude in situ des écosystèmes des grands fonds. Équipé de projecteurs, de caméras, de bras manipulateurs et d'instruments scientifiques, il collecte des données et prélève du matériel à analyser.

Un dispositif multimédia propose à deux joueurs, un pilote et un scientifique, de descendre à bord du Nautile depuis la surface jusque dans les fonds marins.

La partie cachée de l'iceberg...

Les fonds marins ne sont pas plats mais constitués de très importants reliefs : leur profondeur moyenne est de 3 700 m quand l'altitude moyenne des continents est de 800 m !


©Ifremer

Les pattes de la galathée yéti sont recouvertes d'une abondante « fourrure ». Elle y « cultive » des bactéries qui constituent sans doute sa principale source de nourriture.

Une vie vraiment pas comme les autres

La vie marine est essentiellement microscopique : plus de 95% du poids du matériel vivant dans l'océan est constitué d'organismes invisibles à l'oeil nu ! La plupart d'entre eux appartient au plancton. La faune marine, tout comme les êtres humains, dépend de ce plancton qui est à la base de la chaîne alimentaire et produit l'essentiel de l'oxygène de notre planète !

De natures très diverses, les organismes planctoniques qui flottent dans la colonne d'eau ont des tailles qui varient de moins d'1 µm à 10 m, soit 10 millions de fois plus. En surface, le phytoplancton, ou plancton végétal, composé d'algues microscopiques, fournit plus de la moitié de l'oxygène terrestre.

Le zooplancton, ou plancton animal, regroupe des animaux que l'on trouve à tous les étages de l'océan, des petits organismes (copépodes, embryons et larves d'animaux variés...) jusqu'à des animaux géants (méduses, siphonophores...).
Enfin le bactérioplancton et le virioplancton sont constitués de bactéries et de virus.

Le plancton est à la base du réseau alimentaire océanique. Le premier maillon, le phytoplancton, transforme l'énergie lumineuse en matière organique. Il est consommé par les organismes microscopiques du zooplancton et les animaux de petite taille qui constituent eux-mêmes la nourriture des consommateurs plus gros, qui à leur tour sont mangés par d'autres prédateurs. Des bactéries dégradent

100 milliards de virus par litre...

Un litre d'eau de mer contient 1 à 10 milliards de bactéries : il y a 100 millions de fois plus de bactéries dans l'océan que d'étoiles dans l'univers !

La virosphère marine est encore plus gigantesque : un litre d'eau de mer contient 10 à 100 milliards de virus...

les restes de matière organique et fournissent ainsi au phytoplancton les sels minéraux indispensables pour réaliser la photosynthèse : la boucle est bouclée.

La goélette Tara, dont nous avons déjà parlé dans nos pages et dont les missions ont pour but d'étudier les effets du changement climatique, a réalisé une mission dédiée au plancton entre 2009 et 2013. Avec plus de 35 000 prélèvements et 1 million de litres d'eau de mer filtrée, les équipes de Tara Océans ont réussi à récolter la quasi-totalité des espèces planctoniques vivant sur la planète.

Une grande projection immersive à 360° dans un cyclorama de 7m de diamètre donne aux visiteurs la sensation d'évoluer dans une goutte d'eau, à la même échelle que le plancton. De belles images d'organismes planctoniques se déploient autour d'eux, leur permettant de contempler ce surprenant ballet de couleurs et de formes.



©Christian-Sardet, Noé-Sardet et Sharif Mirshak, Parafilms/Chroniques du plancton

Ptéropode : dans l'obscurité des grandes profondeurs, on distingue juste les animaux bioluminescents.

Le peuple de l'extrême

Les grands fonds, les eaux glacées de l'océan Austral... longtemps considérés comme déserts, ces milieux abritent en réalité des formes de vie originales. Les organismes y ont développé des adaptations étonnantes à des conditions qualifiées d'extrêmes du point de vue humain.

90% du domaine marin se situe en-dessous de la limite des 200 m de profondeur, là où l'obscurité rend toute vie végétale impossible. Les plaines abyssales sont le type de relief majoritaire, leur profondeur moyenne est 4 300 m. Les dorsales océaniques forment une chaîne de montagnes sous-marines qui s'étend sur plus de 64 000 km. C'est principalement là qu'on trouve les sources hydrothermales. Les monts sous-marins s'élèvent à plus de 1 000 m au-dessus du plancher océanique sans atteindre la surface. Dépressions abyssales longues, étroites et profondes, les fosses océaniques sont particulièrement difficiles d'accès. La fosse des Mariannes se trouve à 11 000 mètres : c'est le point le plus profond jamais exploré.

Comment la vie peut-elle être si florissante dans ces abysses glacées, dépourvues de lumière, aux pressions extrêmes et où les apports en nourriture sont limités ? Chaque organisme s'adapte : des espèces aveugles ou aux yeux très réduits savent tirer profit d'odeurs et de vibrations pour se déplacer et repérer leurs proies. D'autres, à l'inverse, sont dotés de gros yeux ultrasensibles capables de détecter de faibles quantités de lumière, produite par les organismes bioluminescents que l'on trouve en grand nombre dans les profondeurs.

L'absence de lumière solaire induit également l'absence de production de matière organique par photosynthèse. Pour survivre, la plupart des espèces du fond se nourrissent donc de restes d'organismes provenant des étages supérieurs sous forme de « neige abyssale ». Ponctuellement, un cadavre de grand animal marin tombant sur le fond alimente charognards opportunistes et espèces spécialisées qui se pressent autour du festin selon un ballet bien orchestré.

Par rapport au reste du milieu profond, les sources hydrothermales, geysers riches en minéraux, font figure de véritables oasis de vie !

On y rencontre des espèces étonnantes qui ne dépendent pas des apports alimentaires de surface. L'énergie à la source de la vie n'est pas ici la lumière solaire mais les minéraux expulsés par les fluides surchauffés. Des bactéries utilisent cette énergie chimique pour synthétiser de la matière organique : c'est la chimiosynthèse, point de départ d'un réseau alimentaire original.

Les monts sous-marins sont quant à eux l'habitat privilégié d'une grande diversité d'espèces suspensivores, qui vivent fixées sur le substrat rocheux et se nourrissent des particules en suspension. Nombre d'entre elles sont dites « espèces architectes » car elles servent de refuges à d'autres animaux.


©MNHN / Tin-Yam Chan

Simocarcinus.

Dans l'Antarctique, un univers de géants

Au sein de l'océan Austral, les conditions sont très favorables à la vie grâce à la rencontre entre les eaux glaciales australes et les eaux plus chaudes de la région subantarctique. Autre caractéristique remarquable : l'océan Austral est parcouru par le courant le plus puissant du monde, le courant circumpolaire antarctique, qui constitue une barrière écologique infranchissable pour de nombreux organismes. Sur le fond, on découvre des espèces originales d'éponges, oursins, étoiles de mer, amphipodes, isopodes… qui pour beaucoup ne sont connues dans aucune autre région du monde.

Certaines espèces d'éponges antarctiques peuvent vivre très longtemps et atteindre des tailles exceptionnelles. Les plus grandes mesurent plus de 2 mètres de haut !

Acidification, plastiques, exploitation minière… la mort de l'océan

L'océan absorbe un quart du CO_2 émis par les activités humaines. Mais à quel prix ? Trop de CO_2 provoque la diminution de son pH : c'est l'acidification de l'océan. Les conséquences à long terme ne sont pas encore connues mais son effet corrosif a été observé sur les coquilles des ptéropodes, petits escargots de mer qui constituent un maillon crucial du réseau alimentaire…

Quant à la pollution par les plastiques, elle est désormais bien avérée. Elle se retrouve notamment dans les gyres, ces immenses tourbillons formés par des courants marins. Cette « soupe de plastique », constituée principalement de micro-déchets, génère des substances toxiques dans l'océan et de plus est ingérée par les organismes du plancton : elle s'introduit ainsi dans les réseaux alimentaires.

L'océan est également menacé par les projets d'exploitation minière dans les grands fonds (cuivre, or, nickel, cadmium, tantale…) et par la surpêche qui conduit à un effondrement des populations de poissons et emploie des techniques très destructrices pour de nombreux habitats.

Pour éviter que leur sang ne gèle, certains poissons (les notothénioïdes) sécrètent des protéines antigel qui se lient aux microcristaux de glace en formation, les empêchant ainsi de grossir et permettant au sang de rester liquide. Parmi ces poissons, les channichthyinés ou « poissons des glaces », ont un sang blanc dépourvu d'hémoglobine. L'oxygène, très abondant dans les eaux antarctiques, diffuse passivement à travers leur peau puis alimente les organes grâce à un système cardiovasculaire hyper-développé.

Certains animaux des fonds antarctiques font preuve d'un surprenant gigantisme par rapport à leurs homologues d'autres régions. Autre originalité : alors que chez la plupart des espèces, les larves sont libérées dans l'eau pour se développer indépendamment de leurs parents, les larves d'espèces australes grandissent dans des « poches » spécialisées ou au contact du corps d'un parent.



© NSF/USAP - Photo Steve-Clabuesch

Dans les grands fonds de l'Antarctique, une faune abondante, avec des aptitudes bien particulières.

Ils ont des pouvoirs extraordinaires



©Ifremer

***Riftia pachyptila* est un ver géant emblématique des sources hydrothermales du Pacifique oriental. Dépourvu de bouche et de tube digestif, il se nourrit grâce aux bactéries qu'il abrite et qui libèrent dans son corps la matière organique dont il a besoin.**

Antidouleur puissant, guérison du cancer... les organismes marins ont développé un arsenal chimique extrêmement efficace. Ces molécules aux propriétés étonnantes fascinent les scientifiques car leur potentiel dans les domaines de la recherche et de la médecine est très important.

Ainsi les cônes magiciens produisent un venin particulièrement performant : ils capturent leurs proies en les paralysant en moins d'une seconde ! Les biologistes ont découvert dans ce venin une toxine qui désactive certains récepteurs de la douleur. Peu complexe, elle peut être synthétisée en laboratoire et produite à volonté, sans avoir recours à l'animal. Un médicament a ainsi été mis au point : c'est un antidouleur 1000 fois plus puissant que la morphine !

De son côté, l'arénicole est un ver marin des côtes bretonnes qui peut survivre sans respirer pendant 6 heures à marée basse ! Dans les années 1990, un chercheur du CNRS trouve dans le sang de cet animal une hémoglobine, proche de celle des humains, mais 40 fois plus chargée en oxygène et extracellulaire. Cela fait du ver arénicole un « donneur universel ». Son hémoglobine est actuellement testée sur la conservation des greffons ; en leur apportant une meilleure oxygénation, la durée de conservation peut être grandement améliorée.

On tente de les copier

Le monde marin inspire aussi les scientifiques ou les designers : on parle alors de bioinspiration. Ils vont copier par exemple l'hydrodynamisme de la baleine à bosse ou concevoir des matériaux innovants tels qu'un béton moins polluant inspiré du corail.

Quant à la toxicité des coraux Palythoa, elle est connue depuis longtemps. Les chercheurs ont montré que la molécule en cause, la Palytoxine, est capable de remettre en route le mécanisme de la « mort programmée », qui n'est plus actif chez les cellules cancéreuses. En cultivant des coraux en laboratoire, il est possible d'en extraire la molécule. Un composé s'est avéré actif contre le glioblastome, un cancer du cerveau incurable.

Enfin, la protéine responsable de la fluorescence de la méduse *Aequorea victoria* est aujourd'hui utilisée pour rendre fluorescents certains éléments de la cellule et ainsi suivre des processus biologiques en train de se faire. Actuellement, au Muséum, ce sont les effets des perturbateurs endocriniens qui sont mis en évidence grâce à cette protéine.

Calmar géant, coelacanthe... des créatures de légende

Le gigantisme des profondeurs a alimenté de nombreux mythes et légendes à travers le monde. Ces créatures fabuleuses sont pour certaines identifiées par les scientifiques. Le calmar géant, le coelacanthe, le régalec restent cependant mystérieux, car difficiles d'accès.

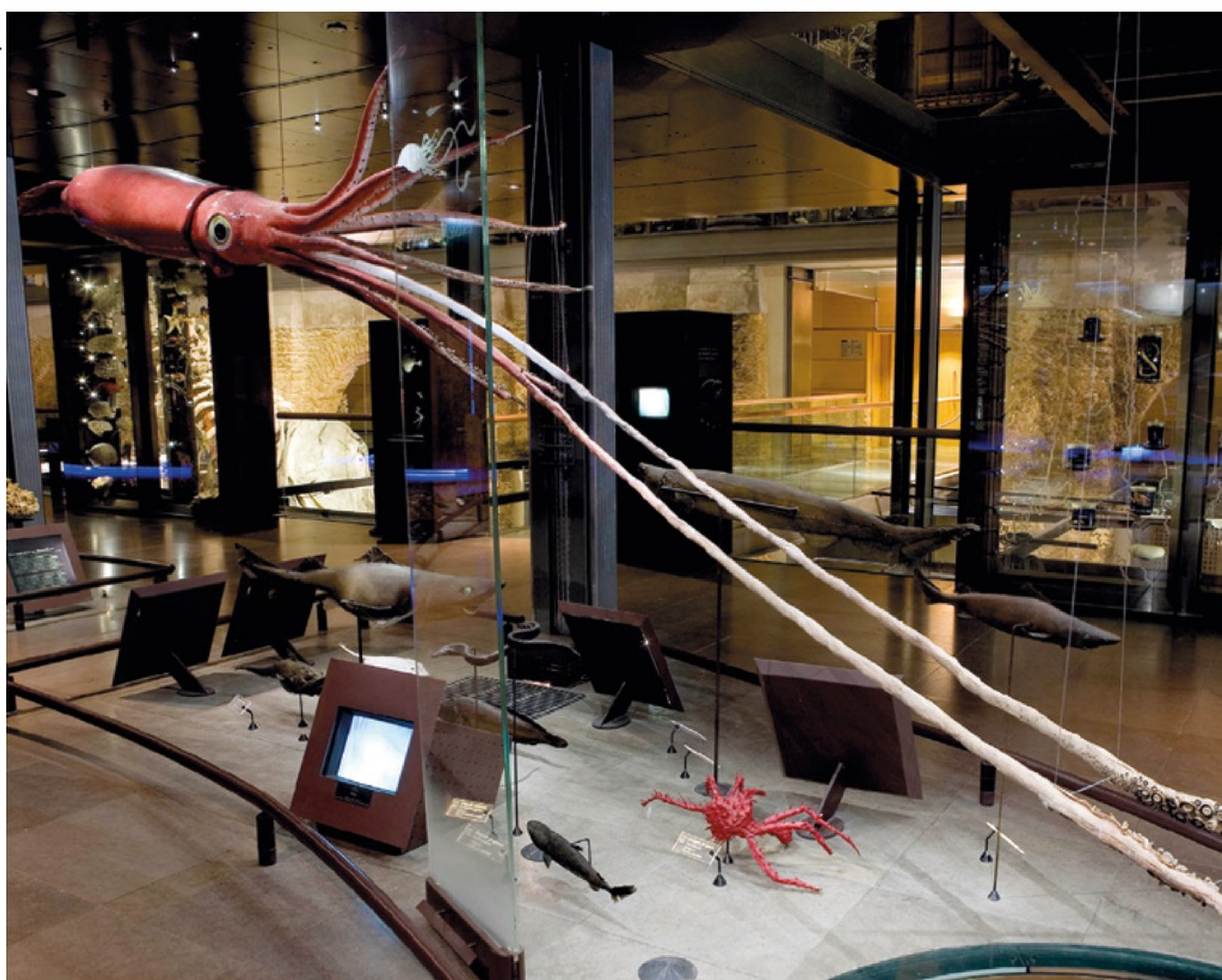
Entre légende et réalité

Le céphalopode géant - tantôt poulpe tantôt calmar - a souvent été décrit comme un monstre effrayant aux tentacules démesurés et à la voracité sans limites. Le premier cadavre a été observé en 1545 en Scandinavie mais il a fallu attendre 2004 pour parvenir à l'étudier vivant dans son environnement. Malgré les moyens technologiques mis en oeuvre, approcher un calmar géant reste une véritable prouesse et l'animal demeure très méconnu.

Représenté par une seule espèce *(Architeuthis dux)*, le calmar géant est l'animal de tous les records. Les femelles affichent les tailles les plus impressionnantes : jusqu'à 18 m pour le plus grand spécimen connu ! Carnivore particulièrement actif, l'animal déploie ses très longs tentacules pour attaquer et immobiliser ses proies. Son œil de 25 cm de diamètre est le plus grand du règne animal. Dans l'obscurité des profondeurs, cet organe particulièrement sensible s'avère très utile pour chasser à distance ou échapper aux prédateurs.

L'exposition présente l'un des rares spécimens naturalisés, celui habituellement visible dans la Grande Galerie de l'Évolution.

©MNHN / Bernard Faye



Le calmar géant de la Grande Galerie de l'Evolution : un spécimen très rare.

Un fossile vivant ?


©MNHN / La Planète Revisitée / Laurent Charles

Architectonica perspectiva.

Le terme de fossile vivant est employé, à tort, pour des espèces dites « primitives » qui n'auraient pas évolué depuis les temps géologiques fort anciens. Le coelacanthe a longtemps été considéré comme un « fossile vivant ». Découvert il y a seulement 80 ans alors qu'il était supposé avoir disparu depuis 70 millions d'années, il a concentré les fantasmes de l'animal mythologique remonté depuis les profondeurs abyssales.

Les fossiles de coelacanthes sont connus des paléontologues depuis le milieu du XIX^{e} siècle ; les plus anciens remontent à 400 millions d'années. Les 150 espèces, découvertes dans différentes régions du monde, sont morphologiquement très différentes - leur taille varie de 25 cm à 6 m de long ! - et présentent une grande diversité écologique. Aucune trace fossile de moins de 70 millions d'années n'ayant été retrouvée, les paléontologues du début du XX^{e} siècle pensaient que les coelacanthes avaient disparu en même temps que les dinosaures...

Mais le 22 décembre 1938, près des côtes de l'Afrique du Sud, un pêcheur découvre dans ses filets un étrange poisson de près de 1,50 m de long. Cette découverte surprenante invalide donc la prétendue disparition de l'animal. Malheureusement l'état très dégradé du spécimen ne permet aucune étude scientifique et il faut attendre 14 ans pour en trouver un second dans l'archipel des Comores. Débute alors une véritable quête : les pêcheurs locaux sont mis à contribution et toute la communauté scientifique se mobilise.

Les scientifiques du Muséum sont très tôt impliqués dans les études autour du coelacanthe. Des expéditions récentes ont permis de l'observer pour la première fois dans son environnement et d'étudier certains de ses comportements. L'exposition présente un spécimen de coelacanthe - le premier observé vivant par des scientifiques - ainsi que les rares images montrant l'animal évoluant dans son milieu naturel.

Des magazines passionnants

Profitez de nos conditions d'abonnement à prix réduits

20% à 40% d'économie sur le prix d'abonnement

Lafont presse

Groupe média indépendant fondé en 1984 à partir du magazine *Entreprendre*, et qui développe une gamme de magazines à forte affinité.

chez votre marchand de journaux ou sur www.lafontpresse.fr

ABONNEZ-VOUS AUX MEILLEURES CONDITIONS

ÉCONOMIE		
❒ Entreprendre	12 n°	49€
❒ Manager et réussir	10 n°	148€
❒ Création d'entreprise mag.	10 n°	160€
❒ Spécial Argent	12 n°	55€
❒ C'est votre argent !	10 n°	54€
❒ Nouvel agriculteur	10 n°	116€
PASSION		
❒ Spécial Chats	10 n°	55€
❒ Spécial chiens	10 n°	55€
❒ Pêche magazine	10 n°	55€
❒ Chasse magazine	10 n°	55€
❒ France Patrimoine	8 n°	140€
AUTO		
❒ L'essentiel de l'auto	10 n°	39€
❒ Automobile revue	10 n°	55€
❒ Auto magazine	10 n°	21€
❒ Automobile Verte	10 n°	78€
❒ Auto Souvenir	10 n°	47€
❒ Le magazine de l'aviation	10 n°	102€
❒ L'essentiel du Drone	10 n°	71€
CUISINE		
❒ Cuisine revue	10 n°	40€
CULTURE/INFORMATION		
❒ Science Magazine	10 n°	54€
❒ L'Essentiel de la science	10 n°	71€
❒ Question de Philo	10 n°	71€
❒ L'Evènement magazine	10 n°	46€
❒ Spécial Histoire	10 n°	78€
❒ Napoléon magazine	10 n°	78€
❒ De Gaulle magazine	10 n°	78€
❒ Magazine des Arts	10 n°	78€
FÉMININ SANTÉ PSYCHO		
❒ Santé Revue	10 n°	39€
❒ Santé Info	12 n°	47€
❒ Féminin Senior	12 n°	47€
❒ Féminin Psycho	10 n°	54€
❒ Santé revue seniors	10 n°	55€
❒ Féminin Santé	10 n°	56€
❒ Spécial Femme	10 n°	22€
❒ Le magazine des femmes	10 n°	23€
❒ Votre beauté	10 n°	63€
PEOPLE		
❒ Journal de France	14 n°	47€
❒ Intimité	10 n°	32€
❒ Paris Confidences	12 n°	15€
❒ Souvenirs souvenirs	10 n°	31€
❒ Reines & Rois	10 n°	47€
❒ Royauté	10 n°	54€
SPORT		
❒ Le Foot (mensuel)	14 n°	46€
❒ Le Foot Lyon (magazine)	10 n°	54€
❒ Le Foot magazine	10 n°	39€
❒ Rugby magazine	10 n°	55€
❒ France Basket	10 n°	47€
❒ Handball magazine	10 n°	63€
❒ Cyclisme magazine	10 n°	55€
❒ Le Sport (spécial)	10 n°	55€
❒ Auto sport magazine	10 n°	78€
MAISON & DÉCO-JARDIN		
❒ Maison Décoration	10 n°	71€
❒ Maison campagne & jardin	10 n°	68€
❒ L'Essentiel de la Déco	10 n°	55€
❒ Special Déco	10 n°	52€
❒ Faire soi-même	10 n°	63€
❒ Jardiner	10 n°	38€
❒ Potager pratique	10 n°	55€
VIE PRATIQUE		
❒ Stop Arnaques	10 n°	24€

INVESTIR EN BOURSE

Entreprendre (*Lafont presse*), groupe indépendant éditeur de 60 magazines publiés en kiosques, est côté sur *Euronext Paris* (code ALENR). Participez à son développement.

CADEAU un abonnement offert en prenant 3 abonnements

Profitez de notre offre !

❒ **Oui**, je m'abonne au(x) magazine(s) suivant(s) :

Magazine 1 : .... €
Magazine 2 : .... €
Magazine 3 : .... €
Magazine 4* : .... €

* Le 4ème magazine est offert si vous souscrivez à 3 abonnements

Total de ma commande : .... €
Nom ....
Prénom .... Date de naissance ....
Adresse ....
....
Code postal .... Ville..................................
Courriel [_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_]

Ci-joint mon règlement à l'ordre de Lafont presse par :
❒ chèque bancaire ou postal
❒ carte bleue Visa
n° [_|_|_|_] [_|_|_|_] [_|_|_|_] [_|_|_|_]
Expire le [_|_] [_|_]
Important, je note les 3 derniers chiffres du numéro inscrit au dos de ma carte bancaire : [_|_|_]

Signature obligatoire :

Lafont presse (Entreprendre est coté en bourse sur Euronext Paris - code ALENR)
120 magazines à découvrir sur www.lafontpresse.fr
Entreprendre (Lafont presse)

Bulletin d'abonnement ci-dessus à renvoyer accompagné de votre règlement à :
53, rue du Chemin Vert - CS 20056 - 92772 Boulogne Billancourt Cedex

Imprimé en France

Vous pouvez aussi nous renvoyer votre bulletin par courriel : abo@entreprendre.fr (paiement par carte bancaire)

Tarifs France Métropolitaine, étranger et Dom-Tom + 2€ par revue servie

*** Photo non contractuelle dans la limite des stocks disponibles. Conformément à la loi « informatique et libertés » du 6 janvier 1978 modifiée en 2004, vous bénéficiez d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent. Vous pouvez accéder aux informations vous concernant, les rectifier et vous opposer à la transmission éventuelle de vos coordonnées en cochant la case ci-contre ▫ ou en adressant un courrier libre à Lafont presse – 53, rue du Chemin vert - Cs 20056 - 92772 Boulogne Billancourt Cedex.*

PREMIER BOUQUET VIDÉO DE DOCUMENTAIRES





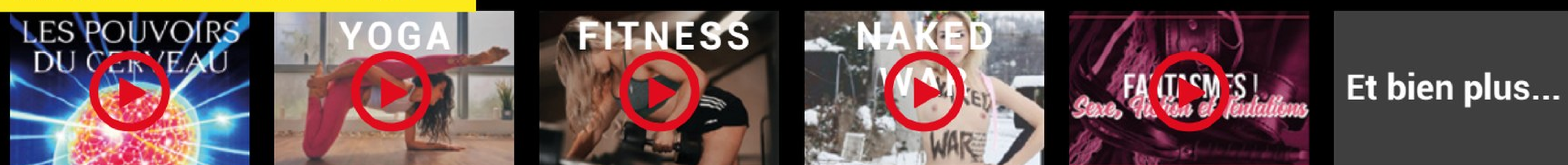
HISTOIRE, SCIENCE & PATRIMOINE



ANIMAUX, NATURE & JARDINS



SANTÉ & BIEN ÊTRE



PEOPLE | DÉCO | PSYCHO

1ER MOIS OFFERT
Puis 4.99/mois
WWW.LAFONTPRESSE.TV



DES PROGRAMMES QUI VOUS INTÉRESSENT

• ILLIMITÉ • SANS ENGAGEMENT • SANS PUBLICITÉ

WWW.LAFONTPRESSE.TV



SCANNEZ-MOI